

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representation of
The original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

P21139.P04

#2
\$9
10/29/01



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant :M. WAKABAYASHI et al.

Serial No. :Not Yet Assigned

Filed :Concurrently Herewith

For :ANALYSIS MODEL DATA CREATING METHOD AND APPARATUS, AND
RECORDING MEDIUM HAVING ANALYSIS MODEL DATA CREATING
PROGRAM RECORDED THEREON


CLAIM OF PRIORITY

Commissioner of Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Sir:

Applicant hereby claims the right of priority granted pursuant to 35 U.S.C. 119 based upon
Japanese Application No. 2000-203853, filed July 5, 2000. As required by 37 C.F.R. 1.55, a certified
copy of the Japanese application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,
M. WAKABAYASHI et al.


Bruce H. Bernstein
Reg. No. 29,027
Reg No. 33,325

June 28, 2001
GREENBLUM & BERNSTEIN, P.L.C.
1941 Roland Clarke Place
Reston, VA 20191
(703) 716-1191

S2035



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月 5日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-203853

出 願 人

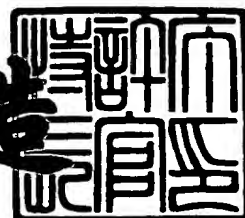
Applicant(s):

スズキ株式会社

2001年 5月11日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3039250

【書類名】 特許願

【整理番号】 A00-50

【提出日】 平成12年 7月 5日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G06F 15/60

【発明の名称】 解析モデルデータ作成方法及び装置並びに解析モデルデータ作成用プログラムを記録した記録媒体

【請求項の数】 14

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市都筑区桜並木 2 番 1 号 スズキ株式会社
横浜研究所内

【氏名】 若林 正泰

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市都筑区桜並木 2 番 1 号 スズキ株式会社
横浜研究所内

【氏名】 磯村 貢

【特許出願人】

【識別番号】 000002082

【氏名又は名称】 スズキ株式会社

【代表者】 戸田 昌男

【電話番号】 053-440-2452

【代理人】

【識別番号】 100079164

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 勇

【電話番号】 03-3862-6520

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013505

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9003719

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 解析モデルデータ作成方法及び装置並びに解析モデルデータ作成用プログラムを記録した記録媒体。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 演算装置を使用して解析モデルデータを作成する解析モデルデータ作成方法であって、

解析対象の表面形状が定義された形状データを読み出す形状データ読み出し工程と、この形状データ読み出し工程にて読み出された形状データを直方体であるボクセルの集合で包含するボクセルデータを生成するボクセルデータ生成工程と、前記形状データ読み出し工程にて読み出された形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成する干渉多面体作成工程とを備え、

この干渉多面体作成工程に続いて、当該干渉多面体の頂点のうち予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させると共にこの移動されなかった頂点と前記形状データの内部側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する分割対象多面体作成工程と、この分割対象多面体作成工程にて作成された分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素を抽出する要素抽出工程とを備えたことを特徴とする解析モデルデータ作成方法。

【請求項 2】 前記分割対象多面体作成工程が、前記ボクセルの辺上にはない干渉多面体の頂点を前記干渉面と前記ボクセルの辺の交点である辺上交点へ移動させる特定頂点移動工程を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 3】 前記要素抽出工程が、前記分割対象多面体の各頂点間の直線と当該頂点のうちの一部の頂点を含み前記ボクセル面のいずれかの面と平行な面とを要素抽出用に定義する抽出前処理工程を備えたことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 4】 前記要素抽出工程が、前記分割対象多面体に底面と当該底面に対応する上面とを設定する上底面設定工程と、この上底面設定工程にて設定した上面側と底面側とに前記分割対象多面体の各頂点を振り分ける頂点振り分け工

程と、この頂点振り分け工程にて振り分けた底面側の頂点に対応する上面側の頂点を特定する上底面頂点ペア特定工程と、この上底面頂点ペア特定工程にて特定される上底面ペアを用いて当該分割対象多面体から予め定められた形状の要素を抽出するペア使用抽出工程とを備えたことを特徴とする請求項 1, 2 又は 3 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 5】 演算装置を使用して解析モデルデータを作成する解析モデルデータ作成方法であって、

解析対象の表面形状が定義された形状データを読み出す形状データ読み出し工程と、この形状データ読み出し工程にて読み出された形状データを直方体であるボクセルの集合で包むボクセルデータを生成するボクセルデータ生成工程と、前記形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成する干渉多面体作成工程とを備え

、この干渉多面体作成工程に続いて、ボクセルの辺上にない干渉多面体の頂点を前記干渉面と前記ボクセルの辺の交点である辺上交点へ移動させると共にこの辺上交点と前記形状データの内部側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する分割対象多面体作成工程と、

この分割対象多面体作成工程にて作成された分割対象多面体の複数の頂点と前記形状データの内部側のボクセル面又はボクセル面の部分領域である内部ボクセル面に垂直で且つ前記頂点を含む平面とを用いて予め定められた形状の要素を抽出する要素抽出工程とを備えたことを特徴とする解析モデルデータ作成方法。

【請求項 6】 前記要素抽出工程が、前記分割対象多面体のうち予め定められた性質の内部ボクセル面を一面特定すると共に当該特定した内部ボクセル面を底面に設定する底面設定工程と、この底面設定工程にて設定した底面に対する上面を特定する上面特定工程と、前記分割対象多面体の全ての頂点を底面側と上面側とに振り分ける上底面振り分け工程と、この上底面振り分け工程にて底面側に振り分けられた各頂点と上面側に振り分けられた各頂点の関係に基づいて前記内部ボクセル面に垂直な平面を定義する抽出前処理工程とを備えたことを特徴とする請求項 5 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 7】 前記抽出前処理工程が、

前記底面に垂直な頂点検索直線を生成すると共に当該頂点検索直線を前記分割対象多面体の前記底面に対する側面にて走査する頂点検索直線走査工程と、

この頂点検索直線走査工程にて頂点検索直線の走査中に前記分割対象多面体の頂点が発見された場合には当該発見された位置での頂点検索直線にペア番号を付するペア番号付与工程と、

前記頂点検索直線走査工程による走査の完了後前記ペア番号付与工程にて付与されたペア番号による複数の直線と当該各直線毎の前記底面側での頂点及び前記上面側での頂点の有無に基づいて底面側の頂点と上面側の頂点のペアを生成するペア生成工程と、

このペア生成工程にてペアとされていない頂点を有する前記ペア番号付きの直線と当該分割対象多面体の辺との交点が前記形状データの内部である場合に当該交点を射影点に設定する射影点設定工程と、

この射影点と当該射影点に対応する頂点とを前記ペアとして追加すると共に当該ペアとされた頂点の関係に基づいて要素抽出用の平面を定義する平面定義工程とを備えたことを特徴とする請求項 6 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 8】 前記要素抽出工程が、分割対象多面体の内要素の抽出が処理不能となった分割対象多面体の底面を変更すると共に変更後の底面に基づいて抽出処理を再試行させる底面変更工程を備えたことを特徴とする請求項 6 又は 7 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 9】 前記分割対象多面体作成工程が、前記辺上交点のうち前記ボクセルの頂点までの距離が予め定められた縮約距離よりも短い場合に当該辺上交点を前記ボクセル頂点へ縮約する縮約処理工程を備えたことを特徴とする請求項 5 又は 7 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 10】 前記要素抽出工程に続いて、分割対象多面体の内要素の抽出が処理不能となった分割対象多面体の縮約距離を長くする変更をすると共に当該変更後の縮約距離に基づいて前記分割多面体の生成処理を再試行させる縮約距離変更工程を備えたことを特徴とする請求項 9 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 1 1】 前記要素抽出工程が、抽出する要素の形状が予め定められたいびつな形状である場合には当該いびつな形状を要素として抽出しない処理を行ういびつ形状排除工程を備えたことを特徴とする請求項 5 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 1 2】 前記干渉多面体作成工程が、
前記形状データと干渉しているボクセルを処理対象ボクセルとして抽出する処理対象ボクセル抽出工程と、

この処理対象ボクセルの内部に形状データの頂点が存在する場合に当該頂点を体内交点と判定する体内交点判定工程と、

前記処理対象ボクセルの面と前記形状データの辺の交点が存在する場合に当該交点を面内交点と判定する面内交点判定工程と、

前記処理対象ボクセルの辺と前記形状データの面の交点が存在する場合には当該交点を辺上交点と判定する辺上交点判定工程と、

前記形状データに付された表裏情報に基づいて前記各体内交点、面内交点及び辺上交点に内外判定用の内外判定値を付する内外判定値付与工程とを備えたことを特徴とする請求項 5 記載の解析モデルデータ作成方法。

【請求項 1 3】 演算装置を使用して解析モデルデータを作成する解析モデルデータ作成用プログラムを記録した記録媒体であって、

該プログラムは前記演算装置を動作させる指令として、

解析対象の表面形状が定義された形状データを読み出させる形状データ読出指令と、

この形状データ読出指令に応じて前記演算手段にて読出される形状データを直方体であるボクセルの集合で包むボクセルデータを生成させるボクセルデータ生成指令と、

前記形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成させる干渉多面体作成指令と、

前記ボクセルの辺上にない干渉多面体の頂点を前記干渉面と前記ボクセルの辺の交点である辺上交点へ移動させると共にこの辺上交点と前記形状データの内側

のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成させる分割対象多面体作成指令と、

この分割対象多面体作成指令に応じて作成される分割対象多面体の複数の頂点と、前記形状データの内側のボクセル面又はボクセル面の部分領域である内部ボクセル面に垂直で且つ前記頂点を含む平面とを用いて予め定められた形状の要素を抽出させる要素抽出指令とを備えたことを特徴とする解析モデルデータ作成用プログラムを記録した記録媒体。

【請求項 1 4】 解析対象の表面形状が定義された形状データを読み出す形状データ読み出手段と、この形状データ読み出手段によって読み出された形状データを直方体であるボクセルの集合で包含するボクセルデータを生成するボクセルデータ生成手段と、このボクセルデータ生成手段によって生成されたボクセルデータから解析モデルデータを生成する解析モデルデータ生成手段と、この解析モデルデータ生成手段によって生成された解析モデルデータを表示する解析モデルデータ表示手段とを備え、

前記解析モデルデータ生成手段が、前記形状データ読み出手段によって読み出された形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成する干渉多面体作成部と、前記干渉多面体の頂点のうち予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させると共にこの辺上交点と前記形状データの内側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する分割対象多面体作成部と、この分割対象多面体作成部によって作成された分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素を抽出する要素抽出部とを備えたことを特徴とする解析モデルデータ作成装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、解析モデルを作成する方法および装置に係り、特に、構造解析や流体解析に適した解析モデルデータを作成する方法および装置に関する。また、本発明は、解析モデルを作成するためのプログラム又はこのプログラムを記録した

記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、一般的に三次元の形状モデルを作成する場合、三次元CADデータから要素分割を行い、解析モデルを作成する。モデルが複雑になった場合、モデル作成工数は膨大であり、また専門性を必要とする。自動でソリッドモデル（六面体モデル）を作成する方法として、ボクセルデータ（VOXEL: Volume Pixel）を利用する方法が提案されている。ボクセルデータは、三次元の直交座標を利用した立方体の集合で三次元モデルを定義するものであり、「ボクセル」は、二次元でのピクセルに対応する概念である。そして、三次元モデルからFEM要素（解析モデルデータ）を全自動で作成しやすい。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来例では、ボクセルデータが直交座標を基準としているため、形状データを正確に表現するには、非常に細かい分割が必要となり、すると、要素数が膨大となってしまう、という不都合があった。例えば、一辺100 [mm]の立方体を1 [mm]単位のボクセルにて分割すると、100万要素となってしまう。一方、ボクセルの一要素の大きさを大きくすると、荷重に対する変形や応力集中箇所での最大応力の算出などの解析精度が低下してしまう、という不都合があった。

【0004】

例えば、鳥垣俊和他、“ボクセルモデルを用いた数値解析モデルの自動生成および構造解析、位相形状最適設計への応用”，日本機械学会第74期通常総会講演論文集（I）には、自動車のミッションケースのボクセルモデルのモデル数が64, 333, 160個となり、節点数が7, 063, 070個となった例が開示されている。この従来例では、通常の解析ソルバで解析できる要素数を上回っているためか、特別な解析ソルバの開発を合わせて行い、スーパーコンピュータを使用してベアリングから軸に伝わる荷重を与え、この荷重による応力の分布を求めたところ、約18時間要した旨記載されている。

【 0 0 0 5 】

複雑な形状を有するミッションケースやシリンダブロック等の構造解析や流体解析の解析結果を利用して、そのシリンダブロック等の必要な剛性を維持しつつ軽量とするための最適な形状の模索などを行いたいとしても、上述した例では特別な解析ソルバと計算時間とを必要とするため、シミュレーションを行うために要するコストが大きい、という不都合があった。

【 0 0 0 6 】

【発明の目的】

本発明は、係る従来例の有する不都合を改善し、特に、複雑な形状の解析対象物であっても、解析精度を悪化させずに要素数を削減しつつ、形状データから要素への分割を自動化することのできる解析モデルを作成する方法および装置を提供することを、その目的とする。

本発明はまた、このような解析モデルの生成を行うプログラムを提供することをも、その目的とする。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】

そこで、本発明では、演算装置を使用して解析モデルデータを作成する解析モデルデータ作成方法であって、解析対象の表面形状が定義された形状データを読み出す形状データ読み出工程と、この形状データ読み出工程にて読み出された形状データを直方体であるボクセルの集合で包含するボクセルデータを生成するボクセルデータ生成工程と、形状データ読み出工程にて読み出された形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成する干渉多面体作成工程とを備えている。

しかも、干渉多面体作成工程に続いて、当該干渉多面体の頂点のうち予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させると共にこの辺上交点と形状データの内部側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する分割対象多面体作成工程と、この分割対象多面体作成工程にて作成された分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素を抽出する要素抽出工程とを備えた、という構成を採っている。これにより前述した目的を達成しようとするも

のである。

【0008】

ボクセルデータ生成工程は、形状データの分割等の処理により形状データの外形を複数のボクセルで表すボクセルデータを生成する。続いて、干渉多面体作成工程では、形状データと干渉しているボクセル毎に、当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて、当該形状データの内部側に干渉多面体を作成する。形状データと干渉するボクセルは、形状データの内側と外側とを区分けする境界をその内部に含むボクセルである。形状データがボクセルにどのように干渉するかは、形状データの外觀に依存する。干渉多面体作成工程では、まず、ボクセルの内側に存在する形状データの境界面を、干渉面とする。この干渉面により、ボクセルの形状を形状データと一致させることができる。

干渉多面体の形状は、ボクセルを切断する平面を切断面と考えると、この切断面の数が1個から座標の解像度に依存する無限個まで想定される。従って、干渉多面体から直接解析モデルの要素を求めようとする、要素数が無限個となってしまう、処理が発散してしまう。また、直方体であるボクセルの切断面を1つと限定するのであれば、1つの切断面によって生成される形状を予め全て特定しておくことができる。しかし、2以上の切断面を有するボクセルをも前提とすると、生成される可能性のある形状を予め全て特定しておくことはできない。このため、2以上の切断面を有するボクセルが含まれている場合には、その干渉多面体を特定形状の要素に再定義する処理は困難となる。

【0009】

本発明では、分割対象多面体作成工程が、当該干渉多面体の頂点のうち予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させる。これにより、干渉多面体の特定の性質を有する頂点を無くし、他の性質を有する頂点のみを残すことができる。これにより、ボクセルと干渉多面体とがどのような干渉を行っていたとしても、干渉多々面体の形状は比較的扱いやすい形状となる。分割対象多面体作成工程では、この特定の性質を有さない頂点と、形状データの内側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する。

例えば、好ましい実施形態では、ボクセルの内部に浮かぶ頂点（体内頂点）や

、ボクセルの面上に位置する頂点（面上頂点）を辺上の頂点（边上頂点）へ移動させる。この予め定められた性質の頂点の移動によって、干渉多面体の形状は簡略化される。この簡略化は、構造解析の場合には、干渉多面体をより単純な形状とするために、そぎ落とししたり、又は追加するような処理が好ましい。また、例えば、分割対象多面体の頂点のうち、この頂点を共有する辺が予め定められた数を超えている場合には、その頂点の他端となる頂点を他の頂点に移動させることで、分割多面体を作成するようにしても良い。

干渉多面体の形状が簡略化され、分割対象多面体が生成されると、要素抽出工程は、分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素を抽出する。例えば、ある頂点に着目し、その頂点を含む辺と他の辺との関係に基づいて、四面体や六面体を抽出する。これにより、要素を切り出し、要素を次々と抽出することで、分割対象多面体を要素に分割することができる。例えば、ボクセルの頂点で且つ分割対象多面体の頂点に着目し、この頂点に辺が3つ接続されている場合には、このボクセルの頂点を中心に三角形四面の四面体を抽出することができる。ボクセル2つの頂点が分割対象多面体の頂点でもある場合には、六面体や五面体の抽出を試みる。

好ましい実施形態では、分割対象多面体のある面を底面としたときに、その底面に垂直な面で且つ分割対象多面体の頂点を2つ又は3つ含むような平面を用いて要素を抽出することで、処理不能（要素抽出工程にて要素を良好に抽出できない状態）となるボクセル数を少なくする要素抽出処理を行う。

【 0 0 1 0 】

分割対象多面体作成工程が、干渉多面体を簡略化した分割対象多面体を生成し、要素抽出工程が、この分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて要素を抽出するため、要素の抽出手法に応じて、分割対象多面体の形状を簡略化することができ、1つのボクセルに2つ以上の干渉面が存在する場合であっても、処理を発散させずに完了させることができる。また、例えば、分割対象多面体の頂点をボクセルの边上の点に限定する例では、要素抽出工程は、この分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて、例えば、分割対象多面体の一面を底面としたときの底面に垂直な平面を定義し、この平面と各頂点とを用いて単純な形状の要素を

抽出することができる。

【 0 0 1 1 】

【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明の一実施形態の構成例を示すフローチャートである。本実施形態による解析モデルデータ作成方法は、コンピュータ等の演算装置を使用して C A D データや S T L データ等の形状データから解析モデルデータを作成する。解析モデルデータは、解析ソルバ（構造解析等を行うソフトウェア）が扱うことのできる形状の要素の集合で、形状データの形状を表す。解析ソルバは、その形状の固有振動数を求めたり、応力解析を行うなどの構造解析を行う。また、本実施形態によって作成する解析モデルデータは、流体解析を行う解析ソルバへの入力データとして用いることもできる。

【 0 0 1 2 】

図 1 に示すように、本実施形態による解析モデルデータ作成方法は、解析対象の表面形状が定義された形状データ 2 を読出す形状データ読出工程 S 1 と、この形状データ読出工程 S 1 にて読出された形状データ 2 を直方体であるボクセル 1 の集合で包含するボクセルデータを生成するボクセルデータ生成工程 S 2 と、形状データ読出工程 S 1 にて読出された形状データ 2 と干渉しているボクセル毎に当該形状データ 2 とボクセル 2 の内部との干渉面 3 A を用いて当該形状データ 2 の内部側に干渉多面体 3 を作成する干渉多面体作成工程 S 3 とを備えている。

【 0 0 1 3 】

さらに、この干渉多面体作成工程 S 3 に続いて、当該干渉多面体 3 の頂点のうち予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させると共にこの移動されなかった頂点と形状データ 2 の内側のボクセル 1 の頂点とを頂点とする分割対象多面体 4 を作成する分割対象多面体作成工程 S 5 と、この分割対象多面体作成工程 S 5 にて作成された分割対象多面体 4 の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素 5 を抽出する要素抽出工程 S 7 とを備えている。要素を抽出した後は、オクトツリー構造への変換や、各要素の節点の拘束などを行う。

【 0 0 1 4 】

図 2 は、図 1 に示すフローチャートで使用する各データの一例を示す説明図で

ある。図 2 (A) に、形状データ 2 と干渉しているボクセル 1 の一例を示す。ボクセル 1 は、所定の辺の長さを有する直方体である。このボクセル 1 は、形状データ読出工程 S 1 にて読み出した形状データ 2 を分割して作成するようにしても良いし、形状データ 2 の外形に基づいてボクセルデータを生成するようにしても良い。ボクセルデータを生成すると、形状データ 2 と干渉しているボクセル（処理対象ボクセル） 1 を特定する。

【 0 0 1 5 】

ボクセル 1 と形状データ 2 とが干渉していると、図 2 (A) に示すように、ボクセル 1 は形状データ 2 の内側の領域と、形状データ 2 の外側の領域とに区別される。図 2 (B) の符号 3 A で示す面は、形状データ 2 の面の内、当該処理対象ボクセル 1 の内側に存在する面である。この面 3 A を干渉面と呼ぶ。符号 3 B で示す面は、形状データ 2 の内側に存在するボクセルの面である。この面 3 B を、内部ボクセル面と呼ぶ。干渉面 3 A と辺を共有しないボクセル面であっても、形状データの内側に存在するボクセル面であれば、これも内部ボクセル面 3 B と呼ぶ。

【 0 0 1 6 】

図 2 (B) に示すように、内部ボクセル面 3 B と、干渉面 3 A とによって、干渉多面体 3 を定義することができる。干渉多面体 3 は、形状データ 2 の形状によって様々な形状となる。形状をなんら前提できないと、解析モデルの要素 5 への分割や切り出しを安定して行うことができなくなる。

【 0 0 1 7 】

このため、図 1 に示す例では、干渉多面体 3 から、より形の限定された分割対象多面体 4 を生成している。分割対象多面体作成工程 S 5 では、干渉多面体 3 の頂点のうち、予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させ（ステップ S 4）、その後、移動されなかった頂点と形状データの内側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する。例えば、他の頂点に近い頂点（図 2 に示す例では、符号 6 A で示す頂点）を特定性質の頂点として、この頂点を他の頂点へ移動させ、合体させる。これにより、形状が限定され、簡略化される。例えば、相互に近い頂点の一方を特定性質の頂点として選択することで、厚さの薄い要素が

無くなる。また、好ましい実施例では、ボクセルの辺上の頂点のみで分割対象多面体 4 を生成するようにしても良い。

【 0 0 1 8 】

要素抽出工程 S 7 では、この分割対象多面体作成工程 S 5 にて作成された分割対象多面体 4 の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素 5 を抽出する。頂点の関係は、例えば、一つの頂点と辺を共有する頂点であるか否かや、対向する面での頂点の配置関係が同一であるか否かなどの関係である。分割対象多面体作成工程 S 5 にて分割対象多面体 4 の形状を限定し、続いて、要素抽出工程 S 7 にて分割対象多面体の頂点の関係を用いて要素を抽出するため、頂点の関係を予め分類することができ、この分類に応じて予め定められた形状の要素を抽出することができる。

【 0 0 1 9 】

要素抽出処理を安定して行う手法の一つとして、分割対象多面体 4 の頂点をボクセル 1 の辺上の頂点（辺上頂点）のみとすると良い。この場合、全ての頂点はボクセル 1 の辺上に位置するため、頂点の関係の判定を行いやすくなる。この例では、分割対象多面体作成工程 S 5 が、ボクセル 1 の辺上にない干渉多面体 3 の頂点を干渉面 3 A とボクセル 1 の辺の交点である辺上交点へ移動させる特定頂点移動工程 S 4 を備える。具体的には、ボクセル 1 の内部に存在する干渉多面体 3 の頂点（体内交点 6 C）や、ボクセル 1 の面内に存在する干渉多面体 3 の辺との交点（面内交点 6 B）を特定の性質の交点として、辺上交点 6 A へ移動させ、一体化させる。これにより、分割対象多面体 4 の頂点の三次元座標値のうち、少なくとも 1 つの座標値がいずれかのボクセル辺内にある形状で、形状データを生成することができる。面内交点 6 B を削除することで、隣接するボクセル 1 との干渉面 3 A の連続性を維持しやすくなるため、隣接するボクセル 1 間で要素の表面が不連続となる可能性を低くすることができる。

【 0 0 2 0 】

また、要素抽出工程 S 7 が、分割対象多面体 4 の各頂点間の直線と当該頂点のうちの一部の頂点を含みボクセル面のいずれかの面と平行な面とを要素抽出用に定義する抽出前処理工程を備えるようにしても良い。例えば、図 2（C）に、要

素抽出用の平面 7 A を示す。この平面 7 A は、辺上頂点 6 A が 3 つと、その他の頂点 6 D を含む。そして、この平面 7 A は、図中底面のボクセル面に垂直である。この底面を含むボクセル面に垂直で、その他の頂点 6 D と通常の頂点 6 A とを含む平面にて要素を抽出する処理は、複雑な分割対象多面体 4 に対しても比較的安定して適用することができ、要素抽出処理が発散しづらくなる。

【 0 0 2 1 】

その他の頂点 6 D は、内部ボクセル面の辺上で、且つ、底面の垂直方向の対応する辺に辺上頂点を有する位置に定義される。この位置にその他の頂点（実施例では、射影点）6 D を定義し、所定の平面 7 A を用いて要素を抽出することで、複雑な形状の分割対象多面体を単純な形状の要素へ分割することができる。また、例えば図 2（C）の辺 7 B に着目してこの辺に関係する頂点の配置を見ることで、その形状を特定することができ、この場合、頂点の関係のみで要素 5 を抽出することができる。

【 0 0 2 2 】

好ましい実施例では、分割処理対象ボクセルの各頂点を当該ボクセルの上面側と底面側とに分け、上面側の頂点と底面側のボクセルの対応関係をペアとして求める。そして、このペアを求める処理中に、射影点 6 B と通常の交点のペアを所定の条件に従って生成する。この頂点が上面側に属しているか、または底面側に属しているかという情報と、射影点と、各射影点又は頂点の配置関係とに基づいて、予め定められた形状の要素を抽出する。

【 0 0 2 3 】

この場合、図 1 に示す要素抽出工程 S 7 は、分割対象多面体に底面と当該底面に対応する上面とを設定する上底面設定工程と、この上底面設定工程にて設定した上面側と底面側とに分割対象多面体の各頂点を振り分ける頂点振り分け工程と、この頂点振り分け工程にて振り分けた底面側の頂点に対応する上面側の頂点を特定する上底面頂点ペア特定工程と、この上底面頂点ペア特定工程にて特定される上底面ペアを用いて当該分割対象多面体から予め定められた形状の要素を抽出するペア使用抽出工程とを備える。この上底面の設定及びペアの判定を行うには、干渉多面体のうち、面内交点や体内交点を辺上交点へ移動させておくことが好

ましい。

【0024】

【実施例】

図3は、本発明の一実施例による解析モデル作成方法の処理工程を示すフローチャートである。本実施例による解析モデル作成方法は、図1に示す形状データ読出工程とボクセルデータ生成工程とに続いて、図3に示すように、形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データ2とボクセル1の内部との干渉面3Aを用いて当該形状データの内部側に干渉多面体3を作成する干渉多面体作成工程（S41からS44）を備えている。

【0025】

干渉多面体作成工程（S41からS44）は、形状データ2とボクセル1との交点6を検索する交点検索工程（ステップS41）と、この検索された交点6から干渉面3Aを作成する干渉面作成工程（ステップS42）と、交点6と干渉面3Aとから内部ボクセル面3Bを作成する内部ボクセル面作成工程（ステップS43）と、干渉面と内部ボクセル面とから干渉多面体を作成する工程（S44）とを備えている。

【0026】

そして、本実施例では、ステップS44に続いて、ボクセルの辺上にない干渉多面体3の頂点6B、6Cを干渉面3Aとボクセル1の辺の交点である辺上交点6Aへ移動させると共にこの辺上交点6Aと形状データ2の内側のボクセル1の頂点とを頂点とする分割対象多面体4を作成する分割対象多面体作成工程S45を備えている。処理不能のボクセルが存在した場合には、分割対象多面体の形状をさらに簡略化したのちに（ステップS53）、この分割対象多面体作成工程S45を再実行する。

【0027】

本実施例では、さらに、分割対象多面体作成工程S45にて作成された分割対象多面体4の複数の頂点と形状データ2の内側のボクセル面又はボクセル面の部分領域である内部ボクセル面3Bに垂直で且つ頂点を含む平面7Aとを用いて予め定められた形状の要素を抽出する要素抽出工程（S46からS52）を備えて

いる。そして、処理不能となったボクセルの手動処理を促し（ステップ S 5 4）、抽出された要素の各節点を拘束する（ステップ S 5 5）。

【 0 0 2 8 】

要素抽出工程は、実際には、抽出前処理工程と、要素抽出工程 S 4 9 とに別れる。抽出前処理工程は、図 3 に示す例では、分割対象多面体 4 から底面構成データ 1 4 と上面構成データ 1 5 とを作成する上底面構成データ 1 4 作成工程（ステップ S 4 6）と、上底面構成データ 1 4 を参照して、分割対象多面体 4 の各頂点のペアデータを作成するペアデータ作成工程（ステップ S 4 7）を備えている。

【 0 0 2 9 】

ステップ S 4 9 では、分割対象多面体 4 と作成したペアデータとから要素データを作成する。ペアデータの作成が不能である分割対象多面体 4 については、上底面の振り分けの基準となる底面 1 2 の変更を行う。また、要素データの作成が不能であった分割対象多面体 4 についても、底面 1 2 の変更処理を行う。6 種類の底面を試行したのち、それでも処理不能となるボクセルが存在すれば（ステップ S 5 2）、分割対象多面体 4 の外側の頂点を削除して、分割対象多面体 4 の外側をそぎ落としたり、または付け加えるような簡略化処理を行い、再度抽出前処理を行う（ステップ S 5 3）。このステップ S 5 3 では、実際には、縮約距離 1 0 の変更を行う。

【 0 0 3 0 】

以下、図 3 の各工程を詳細に説明する。

＜干渉多面体作成処理＞

干渉多面体作成処理は、図 3 に示す例では、そのステップ S 4 1 からステップ S 4 4 である。

図 4 は、干渉多面体作成処理の詳細を示すフローチャートである。図 4 に示すように、干渉多面体作成処理は、形状データ 2 と干渉しているボクセル 1 を処理対象ボクセル 1 として抽出する処理対象ボクセル抽出工程（ステップ S 6 1）と、この処理対象ボクセル 1 の内部に形状データ 2 の頂点が存在する場合に当該頂点を体内交点 6 C と判定する体内交点判定工程（ステップ S 6 2）と、処理対象ボクセル 1 の面と形状データ 2 の辺の交点が存在する場合に当該交点を面内交点

6 Bと判定する面内交点判定工程（ステップS 6 3）と、処理対象ボクセル1の辺と形状データ2の面の交点が存在する場合には当該交点を辺上交点6 Aと判定する辺上交点判定工程（ステップS 6 4）とを備えている。

【0 0 3 1】

図4に示す例では、干渉多面体作成処理は、さらに、形状データに付された表裏情報に基づいて各体内交点6 C、面内交点6 B及び辺上交点6 Aに内外判定用の内外判定値を付する内外判定値付与工程（ステップS 6 5）と、内部ボクセル面3 Bを特定する内部ボクセル面特定工程（ステップS 6 6、図3のステップS 4 3）と、内部ボクセル面3 Bと干渉面3 Aとから干渉多面体3を作成する干渉多面体作成工程（ステップS 6 7、図3のステップS 4 4）とを備えている。

【0 0 3 2】

形状データとボクセルの干渉点（交点）検索（図3のステップS 4 1）では、まず、指定した形状データ2の面又は形状データ2の全ての面に対し、干渉しているボクセル1を検索する。続いて、形状データ2と干渉しているボクセル1について干渉点（交点）6を求める。図5に示すように、ボクセルと形状データの交点には以下の3通りがある。

【0 0 3 3】

形状データの面又は辺と、ボクセルの辺（頂点を含む）が干渉している（辺上交点6 A）。

形状データの辺とボクセルの面が干渉している（面内交点6 B）。

形状データの頂点とボクセルの内部が干渉している（体内交点6 C）。体内交点6 Cは、ボクセル1の体内（内側）に存在する形状データの頂点である。また、ここでは、辺上交点6 A、面内交点6 B、体内交点6 Cを総称して、各交点6 A、6 B、6 Cと呼ぶ。

【0 0 3 4】

図4のステップS 6 5では、図6（A）に示すように、あらかじめ所定の方法でボクセルの辺9の方向9 Aを定めておき、辺上交点6 Aの存在する辺9の方向9 Aと形状データ2の内外（表裏）の関係を調べ、各交点6 A、6 B、6 Cの内外判定値として保存する。内外判定値は、図6（B）に示すように、以下のよう

に決定し、3種類の値となる。

【0035】

交点を基準に辺の正方向が外側、負方向が内側の場合は「+」。

交点を基準に辺の正方向が内側、負の方向が外側の場合は「-」。

辺の両方向とも形状データの境界上の場合は「境界」。

【0036】

図3のステップS41では、STL面等の形状データ2と干渉している処理対象ボクセル1を抽出し、処理対象ボクセルの辺上交点6Aと、面状交点6Bと、体内交点6Cとを探索する。そして、各交点6A、6B、6Cにはボクセル1のどの部分が形状データ2の内部に相当するかを判定するための内外判定値が付される。

【0037】

交点から干渉面3Aを作成するには（図3のステップS42）、（1）、形状データ2と干渉している処理対象ボクセル毎に、ステップS41で定義した各交点を順に結び、ボクセル内部の領域での形状データ2の形状を表すように多角形の面を作成する。この多角形の各面を構成する面を、干渉面3Aと呼ぶ。続いて、（2）、各干渉面3Aに着目し、隣り合う干渉面（辺を共有する干渉面）が同一の平面内にある場合、これを一つの干渉面にまとめる。また、解析ソフトで解析を行う際に、微小な要素や、いびつな要素があると、解析精度が落ちるが、それを避けるために、抽出する要素を構成する干渉面3Aと、この干渉面3Aが乗る平面とのなす角度が小さい場合は、1つの干渉面3Aにまとめるとよい。この場合の角度のしきい値は、あらかじめユーザ入力またはシステムの設定値で決定しておく。なお、「いびつ」とは、面の縦横比が大きすぎる場合、面の面積に対し要素の高さが高すぎる場合、面の面積に対し要素の高さが低すぎる場合を指す（以下同様）。

【0038】

内部ボクセル面3Bを作成するには（図3のステップS43）、処理対象ボクセルの面毎に以下の処理を行う。処理対象ボクセル1の面に、この面を横切る干渉面の辺がある場合、その辺によって対象とする面が複数の領域に分かれる。こ

の場合、処理対象ボクセルの面を干渉面の辺で複数の領域に分割する。各交点 6 A, 6 B, 6 C の内外判定値から、各領域が形状データの内部であるか、外部であるかを判定する。内部と判定した領域を内部ボクセル面 3 B とする。

【 0 0 3 9 】

そして、処理対象ボクセルの各ボクセル面又はボクセル面の一部を成す面のうち、上記の内部ボクセル面 3 B 以外のボクセルの面は、その面全体が形状データの内部であるか、または、全体が形状データの外部である。このため、各交点 6 A, 6 B, 6 C の内外判定値をもとに、対象とするボクセル面が形状データ 1 の内部であるか外部であるかを判定する。ボクセル面が内部にあると判定した場合には、対象とするボクセル面を内部ボクセル面とする。隣り合うボクセル面で、辺を共有し同じ平面内にある内部ボクセル面の組を検索し、もし存在すればこれを 1 つの内部ボクセル面にまとめる。

【 0 0 4 0 】

このように、内部ボクセル面は、ボクセルの面のうち、形状データの内側に存在する領域となる面である。内部ボクセル面は、形状データと外部空間の境界面（形状データの各面）とはならず、それよりも内側の面である。内部ボクセル面 3 B は、処理対象ボクセル 1 のボクセル面の一部か、またはボクセル面全部である。内部ボクセル面 3 B の頂点を内部ボクセル頂点とも呼ぶ。

【 0 0 4 1 】

干渉面 3 A と内部ボクセル面 3 B から干渉多面体 3 を作成する（ステップ S 4 4）ために、干渉面 3 A と内部ボクセル面 3 B とを結合して多面体を作成し、干渉多面体 3 とする。1 つのボクセル内に複数の干渉多面体ができる場合は、多面体それぞれを干渉多面体と呼ぶ。

【 0 0 4 2 】

図 7 は干渉多面体の例を示す説明図であり、図 7（A）は形状データとボクセルとの干渉の例を示す図で、図 7（B）はボクセルの内側に存在する形状データの外形からなる干渉面の例を示す図で、図 7（C）はボクセルの各面の内、形状データの内側領域となる内部ボクセル面の例を示す図で、図 7（D）は干渉面と内部ボクセル面とからなる干渉多面体の一例を示す図である。図 7（B）に示す

干渉面 3 A と、図 7 (C) に示す内部ボクセル面 3 B とを合成すると、図 7 (D) に示す干渉多面体が作成される。

【 0 0 4 3 】

図 8 は、面内交点 6 B (及び体内交点 6 C) を含む場合の干渉面 3 A の表裏判定の例を示す説明図である。図 8 (A) は辺上交点 6 A のみからなる場合を示す図で、図 8 (B) は面内交点 6 B を含む場合を示す図で、図 8 (C) は面内交点 6 B を使用した干渉面の表裏判定の一例を示す図である。図 3 乃至図 7 に示すように、本実施例では体内交点 6 C と面内交点 6 B を作成する。そして、ステップ S 4 5 では、体内交点 6 C と面内交点 6 B を辺上交点 6 A に縮約 (移動) している。このため、各交点 (干渉多面体の頂点) のうち、分割対象多面体の頂点として残るのは、辺上交点 6 A のみである。従って、体内交点 6 C と面内交点 6 B とを作成しなくとも、処理は可能である。しかし、この体内交点 6 C と面内交点 6 B を定義しておくことで、干渉面 3 A の定義や、分割対象多面体 4 の各面の内外判定が容易となる。

【 0 0 4 4 】

もし、辺上交点 6 A のみを作成した場合、干渉面 3 A を作成する時に、形状データ 2 と干渉面 3 A の形状が異なる場合があり、そして、交点を順に結んで干渉面を作成する必要がある。しかし、この交点を結ぶ順序を定めることは難しい。すなわち、辺上交点 6 A のみを作成すると、切断面が 2 以上あるような場合には、どの辺上交点の組み合わせが干渉面 3 A を近似する面であるかの特定が難しく、さらに、干渉面 3 A の表裏 (内外) の判定も煩雑となる。一方、面内交点 6 B と体内交点 6 C とを作成していると、干渉面 3 A の形と、ボクセル 1 の内部領域での形状データの形とが同一となる。すると、形状データ 2 を参照しながら干渉面 3 A を作成する処理が容易となる。そして、形状データ 2 に合わせて干渉面 3 A が作成されるため、形状データ 2 の表裏に合わせて干渉面 3 A の表裏を定めることができる。

【 0 0 4 5 】

そして、辺上交点 6 A に内外判定値を持たせている。これにより、内部ボクセル面 3 B の表裏を判定することができる。干渉面 3 A は、干渉する形状データ 2

の面と同じ平面に生成されるため、形状データ 2 の面の表裏を参照することで干渉面 3 A の表裏を決定することができる。一方、内部ボクセル面 3 B は、形状データ 2 の面とは異なる面に生成されるため、形状データ 2 の表裏の情報をそのまま用いることができない。このため、本実施例では、ステップ S 4 1 にて辺上交点 6 A に内外判定値を持たせている。これにより、交点が存在する内部ボクセル面 3 B の辺が形状データ 2 に対して内か外かを判定することができる。そして、内部ボクセル面 3 B が形状データに対して内か外かを判定することができる。また、分割対象多面体 4 の頂点にこの内外判定値を引き継ぐことで、分割対象多面体 4 のペア作成等の処理にて、ある点が分割対象多面体の内部か否かの判定を行うことができる。

【 0 0 4 6 】

＜分割対象多面体作成処理＞

分割対象多面体作成処理では、干渉多面体 3 に対して縮約処理を行い、形状を簡略化する。すなわち、干渉多面体 3 を、より頂点数が少ない分割対象多面体 4 へ変更する。縮約処理は、第 1 に、面内頂点 6 B と、体内頂点 6 C を辺上交点 6 A へ移動する処理であり、第 2 に、縮約距離 1 0 が小さい場合に辺上交点 6 A を内部ボクセル頂点へ移動する処理であり、第 3 に、内部ボクセル頂点を両端点とする辺上の辺上交点 6 A を一方の内部ボクセル頂点へ移動させる処理である。

【 0 0 4 7 】

図 3 に示す分割対象多面体作成処理（ステップ S 4 5）では、干渉多面体 3 毎に以下の処理を行う。まず、各交点 6 A, 6 B, 6 C の名称を、頂点とする。ここで、符号は同一のものをを用いる。例えば、干渉多面体 3 の頂点であり体内交点 6 C である点を体内頂点 6 C とする、この体内頂点 6 C は、処理対象ボクセルの体内に存在する形状データの頂点である。続いて、干渉多面体の頂点であり面内交点 6 B である点を面内頂点 6 B とする。面内頂点 6 B は、形状データ 2 の辺と、ボクセル面との交点 6 B である。そして、干渉多面体 3 の頂点であり辺上交点 6 A であるものを辺上交点 6 A とする。

【 0 0 4 8 】

干渉多面体 3 は、そのボクセルのうち、形状データ 2 の内部に含まれる部分の

形状である。

体内頂点 6 C は、干渉多面体 3 の頂点で、且つ、体内頂点 6 C である。従って、処理対象ボクセル 1 の体内に存在する形状データ 2 の頂点である。

面内頂点 6 B は、干渉多面体 3 の頂点で、且つ、面内頂点 6 B である。従って、処理対象ボクセル 1 のボクセル面と形状データ 2 の辺の交点である。

边上頂点 6 A は、干渉多面体 3 の頂点で、且つ、边上頂点 6 A である。従って、処理対象ボクセル 1 のボクセル辺と、形状データ 2 の面との交点である。

内部ボクセル頂点 1 1 A は、処理対象ボクセル 1 の頂点のうち、干渉多面体 3 の頂点である。従って、内部ボクセル頂点は、処理対象ボクセル 1 のボクセル頂点のうち、形状データ 2 の内部に含まれるボクセル頂点である。内部ボクセル頂点 1 1 A を両端点とするボクセル辺を、内部ボクセル辺と呼ぶ。

【 0 0 4 9 】

体内頂点 6 C 又は面内頂点 6 B が存在すると、干渉多面体 3 の形状が複雑となり、解析モデルの要素へ分割する際の処理が難しくなる。これを防ぐため、本実施例では、体内頂点 6 C と面内頂点 6 B とを、边上頂点 6 C に移動する。

【 0 0 5 0 】

図 9 は分割対象多面体作成処理の詳細構成を示すフローチャートである。図 9 に示すように、本実施例では、分割対象多面体作成処理は、ボクセル 1 の边上にない干渉多面体 3 の頂点を干渉面 3 A とボクセルの辺の交点である边上交点 6 A へ移動させる頂点縮約工程（ステップ S 7 1）を備えている。この頂点縮約工程 S 7 1 では、干渉多面体 3 の辺のうち、一方の端点が边上頂点 6 A であり、且つ、もう一方の頂点が边上頂点 6 A ではない辺を検索し、検索した辺の边上頂点 6 A でない側の頂点を边上頂点 6 A に移動する。これを繰り返し行い、全ての体内頂点 6 C と面内頂点 6 B を、边上頂点 6 A に移動する。例えば、面上頂点 6 B がある边上頂点 6 A へ移動し、次の処理で、移動元の面上頂点 6 B と接続していた体内頂点 6 C が移動後の边上頂点 6 A へ移動する。この体内頂点 6 C と面上頂点 6 B の边上頂点 6 A への移動が完了すると、干渉多面体 3 は、边上頂点 6 A と、内部ボクセル頂点とを頂点する形状となる。

【 0 0 5 1 】

図 9 に示す例では、分割対象多面体作成処理は、辺上交点 6 A のうちボクセル 1 の頂点までの距離が予め定められた縮約距離 1 0 よりも短い場合に当該辺上交点（縮約対象交点）をボクセル頂点へ縮約する縮約処理工程（ステップ S 7 2）を備えている。縮約処理工程 S 7 2 では、図 1 0（A）に示すように、内部ボクセル頂点からの距離が、縮約距離 1 0 よりも短い場合に、当該辺上頂点 6 A を内部ボクセル頂点 1 1 A に移動し、一体化させる。

【 0 0 5 2 】

この縮約処理は、微少な要素やいびつな要素が生成されることを避けるため、干渉多面体 3 の頂点で、内部ボクセル頂点 1 1 A でないものは、内部ボクセル頂点 1 1 A との距離を求め、距離（縮約距離）が近い場合は内部ボクセル頂点に移動するものである。縮約距離 1 0 は、内部ボクセル頂点 1 1 A から、辺上頂点 6 A までの距離について、縮約を行うか否かのしきい値となる距離である。まず、内部ボクセル頂点 1 1 A に着目し、その頂点を一方の端点とする干渉多面体 3 の辺を特定する。そして、その特定した辺上の辺上頂点 6 A から内部ボクセル頂点 1 1 A までの距離が縮約距離よりも短い場合には、当該辺上頂点 6 A をボクセル頂点まで移動させ、内部ボクセル頂点 1 1 A と一体化させる。これにより、いびつな要素をそぎ落とすと共に、干渉多面体 3 の形状を簡略化する。内部ボクセル頂点 1 1 A に移動するか否かを判断するための縮約距離 1 0 のしきい値は、あらかじめユーザ入力や自動設定で決定しておく。

【 0 0 5 3 】

さらに、分割対象多面体作成処理工程は、図 1 0（B）に示すように、両端を内部ボクセル頂点 1 1 A とする辺上に辺上交点 6 A がある場合に、その辺上交点（内部辺上交点）をいずれか近い内部ボクセル頂点 1 1 A へ移動させる内部辺上交点移動工程（ステップ S 7 3）を備えるようにしても良い。内部辺上交点は、いびつな要素のある頂点を内部ボクセル頂点 1 1 A へ縮約したことで、当該要素の他の頂点が内部ボクセル頂点 1 1 A を両端点とする辺上に乗ることなどで生じる。また、内部辺上交点は、ボクセルをくり抜くような形状データによっても生じる。

【 0 0 5 4 】

内部辺上交点移動処理は、干渉多面体 3 の辺上頂点 6 A であって、この辺上頂点 6 A が属する辺の両端が内部ボクセル頂点 1 1 A である場合には、すなわち、辺上頂点 1 1 A の属する辺が、内部ボクセル辺である場合には、当該辺上頂点を 2 つの内部ボクセル頂点 1 1 A のうち近いボクセル頂点へ縮約するものである。

【 0 0 5 5 】

具体的な処理では、まず、ボクセル頂点でない干渉多面体 3 の頂点（辺上頂点）の検索を行う。そして、検索された辺上頂点 6 A をもつ干渉多面体 3 の辺で、当該検索された頂点 6 A と反対側の端点がボクセル頂点 1 1 A である辺を検索する。さらに、その中から、内部ボクセル頂点 1 1 A が 2 つ以上同一ボクセル辺上にある辺を検索する。該当する辺が存在した場合は、干渉多面体 3 の頂点を、検索した辺に属する近い方のボクセル頂点 1 1 A に移動する。

【 0 0 5 6 】

内部ボクセル辺へ辺上頂点 6 A が存在するのは、干渉面のある頂点を内部ボクセル頂点 1 1 A へ縮約し、縮約されなかった頂点が内部辺上交点となる場合や、形状データ 2 の頂点の位置が内部ボクセル辺内にあった場合や、内部ボクセル辺の内側が形状データ 2 によってくり抜かれて内部ボクセル辺上へ 2 つのボクセル辺が生じている場合などである。内部ボクセル辺に存在する 2 つの辺上頂点 6 A は、その辺上頂点 6 A に続く面内頂点 6 B や体内頂点 6 C を引き連れて内部ボクセル頂点 1 1 A へ移動する。

【 0 0 5 7 】

そして、干渉多面体 3 の頂点（各交点 6 A, 6 B, 6 C）の移動により、複数の頂点と同じ位置にある場合は、これを分割対象多面体 4 の 1 つの頂点にまとめる。また、干渉多面体 3 の頂点を、移動又は 1 つに置き換えた場合は、その頂点を持つ内部ボクセル面 1 1 A と干渉面 3 A の形状を、新しい頂点に合わせて変更する。また、点の移動先が形状を修正する面の平面上でない場合は、面を分割するようにしても良い。この面の分割は、体内交点の移動などにより干渉面 3 A がさらに立体化した場合に、これを平面にするための処理である。

【 0 0 5 8 】

そして、これら面内交点、体内交点、縮約対象交点、内部辺上交点を他の辺上

交点へ移動させた後、残った辺上交点を接続することで分割対象多面体を作成する。

【 0 0 5 9 】

このように、本実施例では、干渉多面体の所定の辺上頂点を内部ボクセル頂点へ移動し、または、1つにまとめて干渉多面体の形状を簡略化し、分割対象多面体とする。この縮約処理を行うことで、微少な要素やいびつな要素の生成を回避すると共に、解析システムが扱える形状の要素の生成に寄与する。

【 0 0 6 0 】

また、図9に示す例では、このように作成した分割対象多面体4で良好に要素の抽出（ステップS74，図3に示すステップS49に対応）が行われなかった場合には、すなわち、処理不能としたボクセルが存在した場合には（ステップS75，図3に示すS52に対応）、ステップS72での縮約距離10を長くして（縮約距離変更工程）、再度分割対象多面体4を作成する。これにより、要素5の抽出が可能となるまで順次干渉多面体3の簡略化の度合いを大きくしていくことで、通常に処理できるものは少ない簡略化とすることができる。これにより、要素抽出の自動化と精度の向上のバランスを図っている。

【 0 0 6 1 】

<要素抽出処理>

図11は、図3に示す要素抽出処理の一例を示すフローチャートである。本実施例では、要素抽出工程が、分割対象多面体4のうち予め定められた性質の内部ボクセル面を一面特定すると共に当該特定した内部ボクセル面を底面12に設定する底面設定工程（ステップS81）と、この底面設定工程S81にて設定した底面12に対する上面13を特定する上面特定工程（ステップS82）と、分割対象多面体4の全ての頂点6A，11Aを底面側と上面側とに振り分ける上底面振り分け工程（ステップS83）と、この上底面振り分け工程s83にて底面側に振り分けられた各頂点と上面側に振り分けられた各頂点の関係に基づいて内部ボクセル面に垂直な平面7Aを定義する抽出前処理工程S85とを備えている。

【 0 0 6 2 】

抽出前処理工程では、上面側と底面側の頂点の対応関係を利用して要素5の抽

出を安定に行うための処理を行う。抽出前処理工程で特定する上面側頂点と底面側頂点の関係を、ペアと呼ぶ。ペアを抽出するために、図 1 1 に示す例では、まず分割対象多面体 4 の頂点及び辺を上面側と底面側とに振り分ける。同一の頂点又は辺が上面側と底面側の両方に含まれることもある。

【 0 0 6 3 】

ここでは、底面側に属する頂点群とこの頂点による辺及び対角線を、底面構成データ 1 4 と呼ぶ。また、上面側に属する頂点群等を、上面構成データ 1 5 と呼ぶ。図 3 に示すステップ S 4 6 は、図 1 1 に示すステップ S 8 1 から S 8 4 までの処理を行う。

【 0 0 6 4 】

図 1 2 に、分割対象多面体 4 の上面 1 3 及び底面 1 2 の例を示す。図 3 のステップ S 4 6 以下では、複雑な形状の干渉多面体 4 を、解析システムが扱える形状とするために、分割対象多面体 5 を分割する。ステップ S 4 6 では、分割対象多面体 4 を要素 5 に分割する際の分割面を決定する際に使用するペアデータを作成する。ペアデータは、辺上頂点 6 A と辺上頂点 6 A に対応する所定の点の対応関係を示す。すなわち、ペアデータは、分割対象多面体 4 の頂点同士の対応関係のデータである。このペアデータを用いて、複雑な分割対象多面体を分割する。

【 0 0 6 5 】

ペアデータを作成するには、まず、分割対象多面体の頂点等を底面構成データ 1 4 と上面構成データ 1 5 とに振り分ける。分割対象多面体を底面構成データ 1 4 と上面構成データ 1 5 へ振り分ける処理は、分割対象多面体のある面を底面としたときに、その底面に垂直な上下方向からそれぞれ柔らかい仮想的な布で包み、上面側の布と接触した面及び辺を上面構成データ 1 5 に登録し、底面側の仮想的な布と接触した面及び辺を底面構成データ 1 4 に登録するような処理である。上面側と底面側とに分けた後、底面に垂直な平面 7 A を用いてこの分割対象多面体 4 を分割することで、切断面を 2 面以上有するような複雑な形状であっても、安定した要素抽出が可能となる。

【 0 0 6 6 】

上面側及び底面側への振り分けを行うには、最初に、分割対象多面体 4 の内部

ボクセル面から1面を選び、要素を切り出す際に基準とするボクセル面（以後、ボクセル底面）を特定する。内部ボクセル面が複数ある場合には、例えば、最も面積が広い内部ボクセル面を、初期の底面12とし、この底面12を底面構成データ14に登録する。底面を含むボクセル面を、ボクセル底面と呼ぶ。ボクセル底面に対面で当該底面に平行なボクセル面を、ボクセル上面と呼ぶ。ボクセル上面が分割対象多面体4の面を含むか否かは、形状データとボクセルデータの干渉の仕方によって異なる。ボクセル上面でもボクセル底面でもないボクセル面を、ここではボクセル側面と呼ぶ。

【 0 0 6 7 】

底面12の頂点等が底面構成データ14に登録されると、次に、上面構成データ15を作成する。このため、底面12の対面の干渉3A面又は内部ボクセル面3Bを上面13として特定する。上面13を特定するには、まず、ボクセル上面に、内部ボクセル面3Bが存在するが調べる。図12（A）に示すように、ボクセル上面に内部ボクセル面3Bが存在する場合、それを上面13と呼び、上面13を上面構成データ15に登録する。このとき、上面13と辺を共有し、かつ底面12と交点を共有しない干渉面3Aと内部ボクセル面3Bとを全て上面構成データ15に登録する。図12に示す例では、図中上面と辺を共有し、左下に下る三角形30の干渉面3Aを上面構成データ15に登録する。また、底面12と辺を共有し、かつ上面13と交点を共有しない干渉面3Aと内部ボクセル面3Bとを全て底面構成データ14に登録する。図12（A）に示す例では、底面12と辺を共有し、手前上方へ持ち上がっている三角形31の干渉面3Aを、底面構成データ14に登録する。

【 0 0 6 8 】

図12（B）に示すように、ボクセル上面に内部ボクセル面が存在しない場合には、まず底面12と辺を共有しない干渉面3Aを1つ検索する。そして、この底面12と辺を共有しない干渉面3Aが存在する場合は、その面を上面13と呼び、上面13を上面構成データ15に登録する。さらに、上面13と辺を共有し、かつ底面12と交点を共有しない干渉面3Aと内部ボクセル面3Bを全て上面構成データ15に登録し、底面12と辺を共有し、かつ上面13と交点を共有し

ない干渉面 3 A と内部ボクセル面 3 B とを全て底面構成データ 1 4 1 5 に登録する。図 1 2 (B) に示す例では、図 1 2 (A) と同様に、上方に持ち上がる三角形 3 2 の干渉面 3 A を底面構成データ 1 4 に加える。

【 0 0 6 9 】

図 1 2 (C) に示すように、底面 1 2 と辺を共有しない干渉面 3 A が存在しない場合には、干渉面 3 A を 1 つ選択し、上面構成データ 1 5 に登録する。全ての交点が底面構成データ 1 4 又は上面構成データ 1 5 に含まれるか確認し、含まれていない交点が存在する場合は、上面構成データ 1 5 に含まれる干渉面 3 A と辺を共有する干渉面 3 A と内部ボクセル面 3 B とを上面構成データ 1 5 に追加する。これを繰り返し行い、全ての交点が底面構成データ 1 4 又は上面構成データ 1 5 に含まれるようにする。

【 0 0 7 0 】

この底面構成データ 1 4 に属する辺のうち、その辺を辺とする面が 1 つのみの辺を検索する。それらの辺を順番につなげて 1 つのループを作成する。これを底面構成データ 1 4 の辺データとする。底面構成データ 1 4 に属する辺のうち、その辺データ以外の辺を対角線データとする。同様にして、上面構成データ 1 5 から辺データと対角線データとを作成する。

【 0 0 7 1 】

<底面構成データ 1 4 及び上面構成データ 1 5>

再度、底面構成データ 1 4 等の定義を説明する。分割多面体 4 の全ての頂点（辺上頂点又は内部ボクセル頂点）は、底面構成データ 1 4 又は上面構成データ 1 5 の一方又は双方に含まれる。底面構成データ 1 4 は、内部ボクセル面 3 A を含む。

【 0 0 7 2 】

本実施例では、底面 1 2 に対して対向する内部ボクセル面 3 B や干渉面 3 A がある場合には、垂直な平面 7 A で複雑な形状の分割対象多面体 4 を分割しようとする。この底面 1 2 に対向する側を、上面構成データ 1 5 とする。底面 1 2 を定めた後、ボクセルの底部から辺上頂点 6 A を探索した時の干渉面 3 A 及び内部ボクセル面 3 B が底面構成データ 1 4 となり、一方、ボクセル 1 の上部から辺上頂

点 6 A を探索した時の干渉面 3 A 及び内部ボクセル面 3 B が底面構成データ 1 4 となる。

【 0 0 7 3 】

底面構成データ 1 4 及び上面構成データ 1 5 はそれぞれ、内部ボクセル頂点 1 1 A と、辺上頂点 6 A のいずれか又は両方を有する。辺データは、上面構成データ 1 5 又は底面構成データ 1 4 の形状の端（外周）を結ぶループである。辺データに属さず、上面構成データ 1 5 又は底面構成データ 1 4 の辺のうち 2 つの面で共有される辺を、対角線データと呼ぶ。分割対象多面体 4 は、辺データによる辺と、対角線データと、この辺データ及び対角線データに含まれない辺（側面辺データ）とで構成される。

【 0 0 7 4 】

図 1 1 に示す例では、ステップ S 8 6 にて要素として抽出できない分割対象多面体（処理不能ボクセル）がある場合には、底面 1 2 の変更を行う（ステップ S 8 8, 底面変更工程）。例えば、図 1 3（A）に示すように、最も広い内部ボクセル面 3 B を底面 1 2 とすると、その後の処理が不能となることがある。しかし、底面 1 2 を変更すると、例えば図 1 3（B）に示す形状となり、これは、底面 1 2 に垂直な平面 7 A で図 1 3（C）及び（D）に示す 2 つの要素 5 へ容易に分割可能となる。この底面 1 2 の変更を六面全てについて試行し、それでも処理不能である場合には、図 3 に示す例では、分割対象多面体 4 の形状をより簡易化する処理を行う。

【 0 0 7 5 】

< 抽出前処理 >

図 1 4 は、図 3 に示す抽出前処理の一例を示すフローチャートである。抽出前処理工程は、まず、底面 1 2 に垂直な頂点検索直線を生成する（ステップ S 9 1）と共に当該頂点検索直線を分割対象多面体の底面に対する側面にて走査する（ステップ S 9 1, 頂点検索直線走査工程）。この頂点検索直線の走査中に分割対象多面体 4 の頂点が発見された場合には（ステップ S 9 3）、頂点に番号を付すると共に（ステップ S 9 4）、当該発見された位置での頂点検索直線にペア番号を付する（ステップ S 9 4, ペア番号付与工程）。このとき、上面側の辺データ

と底面側の辺データとで同時に頂点が発見された場合には、ステップ S 9 7 にてペアと特定する。一方、上面側又は底面側の一方にて頂点が発見された場合には、発見されない側の辺データに予備的な射影点を付する。

【 0 0 7 6 】

頂点検索直線走査工程 S 9 3 による走査の完了後（ステップ S 9 6）、ペア番号付与工程にて付与されたペア番号による複数の直線と当該各直線毎の底面側での頂点及び上面側での頂点の有無に基づいて底面側の頂点と上面側の頂点のペアを生成する（ステップ S 9 7、ペア生成工程）。そして、このペア生成工程 S 9 7 にてペアとされていない頂点を有するペア番号付きの直線と当該分割対象多面体の辺との交点が形状データの内部である場合に当該交点を射影点に設定すると共にこの射影点と当該射影点に対応する頂点とをペアとして追加する（ステップ S 9 8、射影点設定工程）。

【 0 0 7 7 】

本実施例では、要素抽出にて射影点を含むペアと他のペアとからなる平面を要素抽出の一面として用いることで、底面に垂直な平面での要素抽出を行っている。他の実施例では、射影点を有するペアとされた頂点の関係に基づいて要素抽出用の平面を定義する平面定義工程を備えるようにしても良い。また、要素抽出工程が、抽出する要素 5 の形状が予め定められたいびつな形状である場合には当該いびつな形状を要素として抽出しない処理を行ういびつ形状排除工程を備えるようにしても良い。

【 0 0 7 8 】

図 1 5 は、図 1 4 に示す抽出前処理でのペアデータの取扱例を示す説明図である。図 1 5 (A) に示す分割対象多面体 4 があり、底面 1 2 が選択されたとする。図 1 4 に示すフローチャートに従って、この分割対象多面体 4 を処理する例を説明する。まず、底面 1 2 を含むボクセル面に垂直なボクセルの辺を頂点検索直線として特定する（ステップ S 9 1）。底面 1 2 を含むボクセル面の外周上にてこの頂点検索直線を走査する（ステップ S 9 2）。分割対象多面体 4 の頂点は全てボクセル 1 の辺上に位置するため、頂点検索直線は、分割対象多面体 4 の全ての頂点と出会う。

【 0 0 7 9 】

図 1 5 (A) に示す例では、底面 1 2 を含むボクセル面の図中左下の頂点を端点 3 5 とし、底面 1 2 に垂直な直線を頂点検索直線として、左回りに走査したものである。まず、頂点 B 1 が検索される (ステップ S 9 3)。この頂点に、1 番であるとする番号 B 1 を付する (ステップ S 9 4)。そして、この B 1 を検索した位置での頂点検索直線と重なる直線に、1 番目であるとするペア番号 1 を付する (ステップ S 9 5)。ペア番号 1 の直線と、上面側の辺データの交点には頂点が存在しないため、この B 1 に対応する頂点は、「なし」とする (図 1 5 (B) 参照)。

【 0 0 8 0 】

さらに走査を継続すると (ステップ S 9 2)、ボクセル辺の位置で底面側の頂点 B 2 と上面側の頂点 T 1 とが検索される (ステップ S 9 3)。この頂点にそれぞれ B 2, T 1 との頂点番号を付し (ステップ S 9 5)、続いて、ペアを接続する辺となるペア直線にペア番号 2 を付する (ステップ S 9 5)。この B 2 と T 1 は底面に垂直な直線上に存在するため、図 1 5 (B) に示すように、直ちにペアとして扱う。走査及び検索を繰り返す (ステップ S 9 3 からステップ S 9 5)、頂点 B 5 が検索された後には、辺データの走査完了となる (ステップ S 9 6)。走査完了時のペアデータは図 1 5 (B) に示す如くとなる。ステップ S 9 7 では、ペア化のための処理を行うことで、図 1 5 (C) に示すように、B 1 に対して T 1 をペアとし、B 5 に対して T 3 をペアとする。図 1 5 (A) に示す例では、頂点と射影点とのペアは存在しない。

【 0 0 8 1 】

このペアデータ特定の詳細を説明する。図 1 4 に示すように、本実施例では頂点検索直線を用いて、底面構成データ 1 4 の辺データに含まれる頂点と、上面構成データ 1 5 の辺データに含まれる頂点を検索する。底面 1 2 に垂直な頂点検索側面を辺データ上を走査し、辺データの頂点がこの頂点検索直線に乗る順番で、頂点及び直線に頂点番号及びペア番号を付与していく。そして、検索された頂点に、その検索された順序で頂点番号を付する。従って、頂点番号は、底面構成データ 1 4 のループ及び上面構成データ 1 5 のループを表す順序となる。頂点番号

が頂点間の連続性を示すことを用いて、要素の抽出を行うことができる。さらに、頂点検索直線上に頂点が重なった位置で、その頂点検索直線にペア番号を付する。

【 0 0 8 2 】

頂点検索直線をボクセル側面上にて走査する。頂点検索直線内に辺上頂点が含まれた場合には、その位置での直線にペア番号を付し、検索された上底面辺データ 1 5 の頂点（分割対象多面体の辺上頂点）に頂点番号を付する。但し、底面構成データ 1 4 の辺データの頂点と、上面構成データ 1 5 の辺データの頂点が同時に検索された場合は、検索された頂点を直ちにペアとする。例えば、側面辺データによる辺が底面（内部ボクセル面） 1 2 に垂直な直線である場合には、その側面辺が頂点検索直線によって探索されたときに、その側面辺の両端の頂点に同一の頂点番号を付する。

【 0 0 8 3 】

また、頂点検索直線に 2 つ以上の底面構成データ 1 4 の頂点が同時に重なった場合、又は、頂点検索直線に 2 つ以上の上面構成データ 1 5 の頂点が同時に重なった場合には、より好ましい要素抽出処理を行うために、このボクセルを処理不能ボクセルとして扱うようにしても良い。すなわち、本実施例では、図 1 3 （A）に示す場合には、これを一時的に処理不能ボクセルとして扱う場合がある。処理不能ボクセルと判定されると、底面の入れ替え処理等の再試行が行われる。

【 0 0 8 4 】

上記のようにして付したペア番号と、このペア番号に対応する頂点番号の組をペアデータと呼ぶ。ペアデータは、頂点番号で特定される頂点間の直線を定義する。このペアデータをペア番号順に並べると、図 1 5 （B）等に示すようなリストとなる。このリストをペアデータリストと呼ぶ。このリストにおいて、1 つのペアデータに底面構成データ 1 4 の頂点と上面構成データ 1 5 の頂点が含まれる場合は、これをペアとする。ペアを構成する直線を、ペア直線と呼ぶ。ペア直線は、検索直線番号によって識別される。

【 0 0 8 5 】

図 1 6 は、射影点をペアデータに含める場合の例を示す説明図である。ペア番

号 2 では、射影点 P 1 が定義されている。所定のペア化処理によって、B 2 のペアの相手がこの射影点 P 1 となるとする。同様に、射影点 P 2, P 3, P 4 が定義される。この場合のペアデータリストを図 1 6 (B) に示す。図 1 6 に示す例で、射影点を対応する頂点のペアとすると、まず、P 1, B 2, B 6, P 2 の平面で要素が切り出される。そして、T 6, P 3, P 4, T 4 の平面で要素が抽出される。残った形状のうち、頂点の関係からして、P 1, B 2, P 4, T 4 の面で切断すると六面体が抽出されることは判定しやすい。このように、底面 1 2 に垂直な平面での切断を促すために、底面 1 2 に垂直な頂点検索直線を用いて、射影点を定義することで、安定した要素の抽出が可能となる。

【 0 0 8 6 】

ペア直線は、分割対象多面体 4 の側面辺や、分割対象多面体 4 の上面側又は底面側の頂点から、分割対象多面体の上底面辺へ射影した射影点へ至る切断用の線である。側面辺が底面に垂直な場合には、すでにペアの状態ペア直線が定義されている。

【 0 0 8 7 】

ペアとなっていない頂点に対しては、次の処理のいずれか又は処理の組み合わせを行い、ペアとなるようにする。これを図 1 7 及び図 1 8 を参照して説明する。図 1 7 (A) に示す分割対象多面体 4 は、比較的ペアの特定が難しい形状であり、走査完了時には、G と J のペアのみが特定されている。この状態のペアデータリストを図 1 7 (B) に示す。

【 0 0 8 8 】

第 1 のペア化処理： ペアとなっていないペアデータが連続して 2 つ並んでいる場合で、且つ、片方のペアデータが底面構成データ 1 4 (上面構成データ 1 5) の頂点のみを含み、もう片方のペアデータが上面構成データ 1 5 (底面構成データ 1 4) の頂点のみを含む場合は、2 つのペアデータを 1 つにまとめ、2 つの番号のうち小さい方の番号をつける。そして、その番号より大きな番号を持つペアデータの番号も 1 つ小さくする。これにより、頂点検索直線の走査面であるボクセル側面内で傾きを有するような側面辺をペアとして特定できる。例えば、図 1 7 (A) に示す A と H のペア化や、I と F のペア化を行うことができる。この

第 1 のペア化処理を行った状態のペアデータリストを図 1 8 (A) に示す。

【 0 0 8 9 】

第 2 のペア化処理： ペアとなっていないペアデータがあり、対応する頂点（そのペアデータが底面構成データ 1 4 の頂点のみを持つ場合は、上面構成データ 1 5 の頂点、そのペアデータが上面構成データ 1 5 の頂点のみを持つ場合は底面構成データ 1 4 の頂点）が隣のペアデータに含まれる場合は、対応する頂点をペアデータに登録し、ペアとする。これにより、底面構成データ 1 4（上面構成データ 1 5）の 1 つの頂点から、上面構成データ 1 5（底面構成データ 1 4） 2 つの頂点へそれぞれ側面辺があるようなペアを特定できる。この第 2 のペア化処理は、第 1 のペア化処理に続いて行うと良い。図 1 8 (B) に示す例では、符号 2 1 にて示す関係がこの第 2 のペア化処理に該当する。

【 0 0 9 0 】

第 3 のペア化処理： ペアとなっていないペアデータがあり、そのペアデータが底面構成データ 1 4（上面構成データ 1 5）を含む場合は、その頂点を上面構成データ 1 5（底面構成データ 1 4）の辺データに射影する。例えば、底面構成データ 1 4 の辺上頂点から頂点検索直線と同方向へ頂点を射影する。上面構成データ 1 5 の辺に頂点が射影された場合には、これを射影点として、この射影点と辺上頂点とをペアとする。この射影点が定義できる場合は、射影した点をペアデータに登録し、ペアとする。一方、射影した位置が分割対象多面体の外部である場合には、ペアとはできない。この第 3 のペア化処理で定義するペア直線は、分割対象多面体を要素に分割する際に用いる切断用の線となり得る。この第 3 のペア化処理の例は、例えば図 1 6 (A) に示す頂点 B 2 に対する射影点 P 1 である。

【 0 0 9 1 】

第 4 のペア化処理対応する頂点（そのペアデータが底面構成データ 1 4 の頂点のみを持つ場合は上面構成データ 1 5 の頂点、そのペアデータが上面構成データ 1 5 の頂点のみを持つ場合は底面構成データ 1 4 の頂点）を持つペアデータで最も自分の番号に近い番号を持つペアデータを検索する。検索した頂点をペアデータに登録し、ペアとする。この第 4 のペア化処理は、例えば、第 1 のペア化処理

に続いて行くと良い。第4のペア化の例は、例えば、図18符号22で示す関係でのペア化処理である。

【0092】

このようなペア化が完了すると、要素抽出処理が容易となる。一方、ボクセルによっては、形状データの変化微少量と、ボクセル辺の長さの関係によっては、処理不能の場合も想定される。このような場合、図3に示す例では、まず底面の変更処理を行い（ステップS51）、それでも処理不能の場合に縮約距離の変更を行う（ステップS53）。

【0093】

<要素抽出処理>

次に、ペアデータを用いた要素抽出処理を説明する。図3に示すステップS49（図11のS86）では、干渉多面体とペアデータとから要素データを作成する。ここでは、図19（A）から（C）に示す多くの解析ソルバが対応する基本的な3つの形状の要素を作成する場合を例示する。

【0094】

<六面体抽出>

ペアデータから六面体要素を作成する場合には、ペアデータリストの中から以下の条件を全て満たす4つのペアを検索する。

【0095】

図19（D）に示すように、4つのペア番号（ペア直線毎に付された番号で、頂点検索番号の走査順の値を持つ）が連続していること（ここで、ペア番号が連続しているとは、ペアリストの最後の番号の次にペアリストの最初の番号が続く場合を含む。以下同じ）、ペアに含まれる底面構成データ14の頂点は4つの異なる頂点であること、ペアに含まれる上面構成データ15の頂点は4つの異なる頂点であること、底面構成データ14の頂点を番号順につなげたときにその最初の頂点と最後の頂点以外で対角線データと接していないこと、上面構成データ15の頂点を番号順につなげたときにその最初の頂点と最後の頂点以外で対角線データと接していないこと、全てのペアにおいて同じペアに含まれる底面構成データ14の頂点と上面構成データ15の頂点が異なる頂点であること。

【 0 0 9 6 】

その後、検索した4つのペアから六面体を生成すると共に、当該六面体が幾何学的に成立し、かつ微小でもいびつでもないかチェックする。チェックして問題がなければ、当該六面体を要素データとして登録する。要素作成に使用したペアのうち、最初の番号でも最後の番号でもない番号ペアをペアデータリストから削除する。

【 0 0 9 7 】

<五面体抽出>

ペアデータから五面体要素を作成する場合には、以下の条件1から条件4のいずれかを満たすペアを検索する。

【 0 0 9 8 】

条件1（図20（A））は、連続する番号の3つのペアであること、ペアに含まれる底面構成データ14の3つの頂点は、3つの異なる頂点であること、ペアに含まれる上面構成データ15の3つの頂点は、3つの異なる頂点であること、底面構成データ14の頂点を番号順につなげた時に、その最初の頂点と最後の頂点以外で、対角線データと接していないこと、全てのペアにおいて、同じペアに含まれる底面構成データ14の頂点と上面構成データ15の頂点が異なる頂点であること。

【 0 0 9 9 】

条件2（図20（B））は、連続する番号の4つのペアであること、ペアに含まれる底面構成データ14の4つの頂点は、4つの異なる頂点であること、ペアに含まれる上面構成データ15の4つの頂点は、2つずつの同じ頂点の組に分けられ、同じ頂点の組は連続した番号であること、底面構成データ14の頂点を番号順につなげた時に、その最初の頂点と最後の頂点以外で、対角線データと接していないこと、全てのペアにおいて、同じペアに含まれる底面構成データ14の頂点と上面構成データ15の頂点が異なる頂点であること。

【 0 1 0 0 】

条件3（図20（C））は、連続する番号の4つのペアであること、ペアに含まれる上面構成データ15の4つの頂点は、4つの異なる頂点であること、ペア

に含まれる底面構成データ14の4つの頂点は、2つずつの同じ頂点の組に分けられ、同じ頂点の組は連続した番号であること、上面構成データ15の頂点を番号順につなげた時に、その最初の頂点と最後の頂点以外で、対角線データと接していないこと、全てのペアにおいて、同じペアに含まれる底面構成データ14の頂点と上面構成データ15の頂点が異なる頂点であること。

【0101】

条件4（図20（D））は、連続する番号の4つのペアであること、ペアに含まれる底面構成データ14の4つの頂点は、4つの異なる頂点であること、ペアに含まれる上面構成データ15の4つの頂点は、4つの異なる頂点であること、底面構成データ14の頂点と上面構成データ15の頂点が一致するペアが2つあり、その2つのペアの番号が連続していること。

【0102】

その後、検索したペアから五面体を生成すると共に、当該五面体が幾何学的に成立し、かつ微小でもいびつでもないかチェックする。チェックして問題がなければ、当該五面体を要素データとして登録する。要素作成に使用したペアのうち、最初の番号でも最後の番号でもない番号ペアをペアデータリストから削除する。

【0103】

<四面体抽出>

ペアデータから四面体要素を作成する場合には、以下の条件1から条件5のいずれかを満たすペアを検索する。

【0104】

条件1（図21（A））は、連続する番号の3つのペアであること、ペアに含まれる底面構成データ14の3つの頂点は、3つの異なる頂点であること、底面構成データ14の頂点を番号順につなげた時に、その最初の頂点と最後の頂点以外で、対角線データと接していないこと、ペアに含まれる上面構成データ15の3つの頂点は、同じ頂点であること、全てのペアにおいて、同じペアに含まれる底面構成データ14の頂点と上面構成データ15の頂点が異なる頂点であること。

【 0 1 0 5 】

条件 2 (図 2 1 (B)) は、連続する番号の 3 つのペアであること、ペアに含まれる上面構成データ 1 5 の 3 つの頂点は、3 つの異なる頂点であること、上面構成データ 1 5 の頂点を番号順につなげた時に、その最初の頂点と最後の頂点以外で、対角線データと接していないこと、ペアに含まれる底面構成データ 1 4 の 3 つの頂点は、同じ頂点であること、全てのペアにおいて、同じペアに含まれる底面構成データ 1 4 の頂点と上面構成データ 1 5 の頂点が異なる頂点であること。

【 0 1 0 6 】

条件 3 (図 2 1 (C)) は、連続する番号の 4 つのペアであること、ペアに含まれる底面構成データ 1 4 の 4 つの頂点は、2 つずつの同じ頂点の組に分けられ、同じ頂点の組は連続した番号であること、ペアに含まれる上面構成データ 1 5 の 4 つの頂点は、2 つずつの同じ頂点の組に分けられ、同じ頂点の組は連続した番号であること、底面構成データ 1 4 の同じ頂点の組に対応する、上面構成データ 1 5 の頂点は、2 つの異なる頂点であること、全てのペアにおいて、同じペアに含まれる底面構成データ 1 4 の頂点と上面構成データ 1 5 の頂点が異なる頂点であること。

【 0 1 0 7 】

条件 4 (図 2 1 (D)) は、連続する番号の 3 つのペアであること、ペアに含まれる底面構成データ 1 4 の 3 つの頂点は、3 つの異なる頂点であること、ペアに含まれる上面構成データ 1 5 の 3 つの頂点は、3 つの異なる頂点であること、底面構成データ 1 4 の頂点と上面構成データ 1 5 の頂点が一致するペアが 2 つあること。

【 0 1 0 8 】

条件 5 (図 2 1 (E)) は、連続する番号の 3 つのペアであること、ペアに含まれる底面構成データ 1 4 の 3 つの頂点は、3 つの異なる頂点であること、ペアに含まれる上面構成データ 1 5 の 3 つの頂点は、3 つの異なる頂点であること、底面構成データ 1 4 の頂点と上面構成データ 1 5 の頂点が一致するペアが 1 つあること。

【0109】

その後、検索したペアから四面体を生成する。このとき、条件5で検索したペアからは、四角形1面と三角形4面の五面体が生成されるが、四角形を対角線で分割し、四面体を2つ生成する。当該四面体が幾何学的に成立し、かつ微小でもいいつつでもないかチェックし、問題がなければ、当該四面体を要素データとして登録する。要素作成に使用したペアのうち、最初の番号でも最後の番号でもない番号ペアをペアデータリストから削除する。そして、要素を1つ生成するごとに、ペアデータリストの空いた番号でも最後の番号でもないデータを番号順に詰め、再び前述した六面体、五面体、あるいは当該四面体の要素作成を行う。

【0110】

ペアデータリスト内の全てのペアデータが要素作成に使用されたとき、その分割対象多面体の処理を終了する。上述したように、分割対象多面体を辺上頂点とボクセル頂点のみを頂点とする形状とすることでペアデータの特定を容易とし、さらにペアデータを作成しておくことで、上記各条件に基づいた要素抽出処理が可能となり、これにより、複雑な干渉多面体であっても、その形状を良好に近似する要素の自動生成が可能となり、また、解析精度を向上させることができる。

【0111】

また、ペアデータリストに要素作成に使用されないペアデータが残っている場合は、その干渉多面体の存在するボクセルから生成した要素を全て削除し、そのボクセルを処理不能とする。図3に示すステップS50では、処理不能ボクセルがあるか検索する。処理不能ボクセルがあり、かつ、その処理不能ボクセルに、内部ボクセル面を持つボクセル面でボクセル底面として使用されていない面がある場合、ステップS51の処理に移行する。これ以外の場合はステップS52に移行する。

【0112】

図3に示すステップS51では、処理不能ボクセルの底面を変更する。処理不能ボクセルの底面を変更し、そのボクセルについて分割対象多面体作成処理を行う。例えば、図13を再度参照すると、図13(A)の処理対象ボクセルで、図中の下方の内部ボクセル面を底面、図の上方の内部ボクセル面を上面とすると、

1つのペアデータ内に2つの底面構成データ14の頂点が存在する。この場合、より良い要素抽出を行うため、処理不能とする場合がある。この干渉多面体を、図13(B)のように見て、図面の下方の内部ボクセル面を底面、図の上方の内部ボクセル面を上面とし、ペアデータを検索すると、2つの五面体要素を生成することができる。

【0113】

図3のステップS52では、処理不能ボクセルを検索する。処理不能ボクセルがある場合、そのボクセルの頂点縮約の距離の値が、ユーザ入力又はシステムの既定値に達しているかを調べる。まだユーザ入力又はシステムの規定値まで達していない場合は、ステップS53の処理に移行する。これ以外の場合はステップS54に移行する。

【0114】

ステップS53では、処理不能ボクセルの分割対象多面体の形状を簡略化する。例えば、処理不能ボクセルの頂点縮約の距離を長くして、そのボクセルについてステップS45以降の処理を行うように制御する。

【0115】

例えば、図22(A)の分割対象多面体では、図22(B)及び(C)に示すように、2つの五面体の要素が生成できる。しかし、符号22で示す要素は形がいびつになるため、要素として取り出さない。すると、要素生成に使用されないペアデータが残り、処理不能となる。そこで、このペアデータに対して図22(D)のように頂点縮約を行う。また、これにより隣接ボクセルとの整合がとれない場合は、整合がとれるように隣接ボクセルの干渉多面体の形状を変更する。そして、頂点縮約を行ったボクセルと隣接ボクセルとに対して、再び要素データ分割処理を行う。ここで、形状データと生成する要素の形状に大きな差が生じないように、頂点を縮約する距離は徐々に長くするとよい。

【0116】

図3に示すステップS54では、種々の処理を行っても処理不能のボクセルがある残存している場合には、ユーザが手動で処理を行い、干渉多面体から要素を作成する。

【0117】

次に、ステップ S 5 5 では、各節点を拘束する。すなわち、要素データの頂点（以後、要素データの節点と呼ぶ）を多点拘束する。多点拘束では、節点と節点の拘束と、節点と辺の拘束とを行う。

【0118】

また、望ましい実施例では、分割されなかったボクセルを構造解析の対象となる形状の内側へ向って段階的に大きくするオクトツリー構造に再定義するオクトツリー再定義工程と、このオクトツリー再定義工程によって再定義されたボクセル間の節点を拘束するオクトツリー内節点拘束工程とを備えとよい。すると、図 2 3 に示すように、形状の内側は大きいボクセルで定義されることとなり、この場合、解析モデルデータの要素数をさらに減少させることができる。

【0119】

次に、本実施例による解析モデルデータ作成装置を説明する。図 2 4 は、解析モデルデータ作成装置の構成例を示すブロック図である。図 2 4 に示す例では、図 2 4 に示すように、解析モデルデータ作成装置は、CPU 1 1 2 と、CPU 1 1 2 の作業用主記憶部となるメモリ 1 2 4 と、ボクセルデータおよび解析モデルを記憶するディスク 1 2 5 とを備えている。さらに、解析モデル作成装置は、ボクセルデータ、解析モデルデータ、および解析結果などを表示するディスプレイ 1 3 0 と、CPU 1 1 2 に対する各種命令を入力するキーボード 1 3 2 とを備えと良い。

【0120】

また、解析モデル作成装置は、ネットワーク 1 3 4 を介して解析システム 1 3 6 と接続されている。ボクセルデータ計算システム 1 3 8 は、CAD データ等を解析の精度との関係で最小の大きさとなるボクセルに分割し、ボクセルデータを生成する。また、分割数の入力をユーザに要求するようにしても良い。解析システム 1 3 6 は、本実施形態による解析モデルデータに基づいて例えば有限要素法などにより構造解析や流体解析を行う。

【0121】

CPU 1 1 2 は、解析モデル作成用プログラムを実行することで解析モデル発

生部 1 1 6 や、データ表示処理部 1 2 2 として動作する。この CPU 1 2 の動作により、図 1 や図 3 等を示すフローチャートを実現することができる。演算装置（コンピュータ）を使用して CAD データ（形状データ）から解析モデルデータを生成するための解析モデルデータ作成用プログラムは、解析対象の表面形状が定義された形状データを読み出させる形状データ読出指令と、この形状データ読出指令に応じて演算手段にて読出される形状データを直方体であるボクセルの集合で包むボクセルデータを生成させるボクセルデータ生成指令と、形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成させる干渉多面体作成指令と、ボクセルの辺上にない干渉多面体の頂点を干渉面とボクセルの辺の交点である辺上交点へ移動させると共にこの辺上交点と形状データの内側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成させる分割対象多面体作成指令と、この分割対象多面体作成指令に応じて作成される分割対象多面体の複数の頂点と、形状データの内側のボクセル面又はボクセル面の部分領域である内部ボクセル面に垂直で且つ頂点を含む平面とを用いて予め定められた形状の要素を抽出させる要素抽出指令とを備える。これら各指令がコンピュータ 1 0 0 によって実行されることで、図 1 等を示すフローチャートが実現する。

【 0 1 2 2 】

ここで、「動作させる指令」というときには、各指令のみで演算装置（コンピュータ）を動作させる指令と、演算装置に予め格納されているオペレーティングシステム等の他のプログラムに依存して当該コンピュータを動作させる指令とのいずれかまたは双方を含む。例えば、図 2 4 に示す例では、形状データ読出し指令は、オペレーティングシステムのファイル入出力機能に依存して、所定の名称または所定の領域に格納される形状データをコンピュータに読出させる指令である。従って、形状データ読出指令は、例えば、オペレーティングシステムに読出し対象のファイル名を引渡す指令である。このように、当該解析モデル作成用プログラムを記憶する記憶媒体であって、当該プログラムをユーザへ搬送する用途の記憶媒体には、例えば「オペレーティングシステムに読出し対象のファイル名を引渡す指令」のみが格納される場合がある。これは、動作させようとするコン

コンピュータのオペレーティングシステム等との関係で定まる。

【 0 1 2 3 】

解析モデル作成用プログラムファイルは、可搬性のある記憶媒体に格納されて当該コンピュータに供給される。この記憶媒体は、CD-ROMやフロッピーディスクなどデータを不揮発的に記憶しておくものであれば、どのようなものでもよい。また、他のホスト装置から通信回線を経由して補助記憶装置にプログラムを供給することもできる。

【 0 1 2 4 】

また、図 2 4 に示す解析モデル発生部 1 6 は、解析対象の表面形状が定義された形状データを読み出す形状データ読出手段と、この形状データ読出手段によって読出された形状データを直方体であるボクセルの集合で包含するボクセルデータを生成するボクセルデータ生成手段と、このボクセルデータ生成手段によって生成されたボクセルデータから解析モデルデータを生成する解析モデルデータ生成手段と、この解析モデルデータ生成手段によって生成された解析モデルデータを表示する解析モデルデータ表示手段とを備えている。さらに、解析モデルデータ生成手段が、形状データ読出手段によって読出された形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成する干渉多面体作成部と、干渉多面体の頂点のうち予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させると共にこの辺上交点と形状データの内部側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する分割対象多面体作成部と、この分割対象多面体作成部によって作成された分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素を抽出する要素抽出部とを備えている。各手段や各部の動作は、図 3 等にて同様の名称を有す処理内容と同一である。

【 0 1 2 5 】

以下、本実施例での各処理の関係による利点を説明する。

1. 面内頂点及び体内頂点を辺上頂点へ縮約する利点

ステップ S 4 5 では、面内頂点及び体内頂点を辺上頂点に縮約している。辺上頂点のみとすることで、ステップ S 4 7 でのペアデータの作成処理が容易となり

、処理の発散を防止することができる。具体的には、辺上頂点のみとすることで、ペアデータを並べる順番を単純に定義することができ、頂点の検索時間を三次元座標での検索を行うことと比較して短時間で完了させることができる。

【 0 1 2 6 】

2. 底面構成データ 1 4 と、上面構成データ 1 5 を作成する利点と、この底面構成データ 1 4 と上面構成データ 1 5 の関係に依存しつつペア直線を作成する利点

ステップ S 4 6 では、分割対象多面体の各頂点を、底面構成データ 1 4 と上面構成データ 1 5 とに分離する。そして、着目する頂点が、底面構成データ 1 4 であるか又は上面構成データ 1 5 であるかという点を利用してペア直線を作成している。ボクセルを 1 つの切断面で切断するのではなく、形状データとの干渉面を複数とした場合、分割対象多面体の形状パターンは無限に存在する。このため、全ての形状をパターン化して予め要素分割の手順を定義しておくことは困難である。

【 0 1 2 7 】

ここで、処理対象ボクセルのうち、辺上頂点のみに縮約した分割対象多面体は、必ず 1 つ以上の内部ボクセル面を持つ（形状データの全体が 1 つのボクセルに含まれる場合を除く）。この性質を用いて、内部ボクセル面を 1 つ選び底面として定義し、底面の対面を上面とする。底面の頂点と、上面の頂点との対応関係をペアデータとして登録する。底面の頂点の一部と、それら底面の頂点ペアを成す上面の頂点に着目し、要素を作成する。

分割対象多面体の形状が複雑な場合であっても、要素を作成する際に対象とするのが、底面の頂点の一部及び上面の頂点の一部、それらの頂点に対応するペアデータのみである。このため、処理のパターンが限定され、自動的に要素を作成することが可能となる。なお、実際には、複数の面を底面、上面として用いたい場合もあるため、正確には、ここでの「底面」は、「底面構成データ 1 4 で定義される面」、「上面」は上面構成データ 1 5 を意味する。

【 0 1 2 8 】

3. 処理不能ボクセルの分割対象多面体の形状を簡略化する利点

ステップ S 5 0 では、処理不能ボクセルの分割対象多面体の形状を簡略化して

いる。分割対象多面体の形状が複雑であると、要素に分割する際にいびつな要素ができ、この要素がチェックされると、そのボクセルが処理不能となってしまう。頂点縮約の距離を長くするほど、分割対象多面体の形状が単純になり、いびつな要素ができにくくなる。このため、処理不能であったボクセルでも、要素への分割処理が可能となる。頂点縮約の距離を少しずつ長くすることにより、なるべく形状データの形に近いまま、分割対象多面体の処理を行うことができる。

【0129】

4. 微少な要素や、いびつな要素を生成しない利点（ステップS42, S45, S49）

ステップS42では、干渉面同士の成す角が小さい場合には、1つの干渉面に統合する処理を行っている。そして、ステップS45では、ボクセル頂点ではなく、ボクセル頂点と近い干渉多面体の頂点をボクセル頂点へ移動する処理を行っている。これらの処理は、微少な要素や、いびつな要素を生成しないためである。また、ステップS49にて、生成する要素が微少でないか、そして、いびつでないかをチェックし、微少又はいびつと判定された場合には、要素を生成しないようにしている。

【0130】

解析ソフトで解析を行う際に、微少な要素やいびつな要素があると、構造解析で応力分布にひずみが生じたり、流体解析で流場が不正確になるなど、解析精度が劣化してしまう。このため、ステップS42, 45, S49で微少な要素や、いびつな要素の生成を排除することで、解析精度の劣化を防止している。

【0131】

上述したように本実施例によると、形状データと、切断面を定義したボクセルとの差が小さく、生成される要素の形状ももとの形状データに近いものとなる。また、隣接するボクセル同士の切断面が連続するので、形状データの境界面での凹凸が生じない。これにより、生成する解析モデルの精度を向上させ、高精度の解析結果を得ることができる。

【0132】

図25は、本実施例による解析モデルデータをコンロッドに適用した結果を示

す図表である。図 2 5 に示すように、本実施例による解析モデル作成方法又は装置を使用して作成した解析モデルデータを用いると、従来手法と比較して要素数が半分以下となるにもかかわらず、固有振動数解析の精度が向上した。解析モデルの例を図 2 6 に示す。

【 0 1 3 3 】

図 2 7 は、形状データとボクセルデータとの干渉に応じて要素を抽出する形状フィットを行わない解析モデルデータの一例を示す説明図であり、図 2 8 は、本実施例により形状フィットを行った解析モデルデータの一例を示す説明図である。拡大図を比較すると、円形部分や隙間などで本実施例による解析モデルデータの方がより現実の形状を正確に近似しているといえる。

【 0 1 3 4 】

図 2 9 は、本実施例による解析モデルデータをシリンダーブロックに適用した結果を示す図表である。図 2 9 に示すように、本実施例による解析モデル作成方法を使用すると、解析モデルの作成時間を大幅に短縮することができ、且つ、誤差を小さくすることができた。

【 0 1 3 5 】

<用語集>

本明細書で特に定義して使用している用語を以下に示す。

形状データ： 解析モデルを生成するもととなる形状のデータ。実施例では、STL データを用いる。

要素： 解析モデルを構成する多面体。一般的な解析ソルバ（解析ソフト）では、六面体など予め定められた形状のみを使用することができる。

ボクセルデータ： 形状データを直方体の集合で近似したデータ。または、その直方体で、形状データと干渉しない状態の直方体のデータ。

ボクセル面： ボクセルを構成する面で、長方形。

ボクセル頂点： ボクセルの頂点

処理対象ボクセル： 形状データと干渉しているボクセルで、要素を切り出すための処理を行う対象となるボクセル。

干渉面（切断面）： ボクセルの内部領域での形状データの形状を表現する多

角形。ただし、S 4 5 の処理でその頂点が移動されると、形状データの形状とは一致しないこととなる。

内部ボクセル面： 形状データの内部の領域に存在するボクセル面。または、形状データの内部領域に存在するボクセル面の部分領域。

干渉多面体： 干渉面（切断面）と内部ボクセル面を組み合わせて構成される多面体。干渉多面体の形状は形状データと略同一。干渉多面体は、辺上交点（内部ボクセル頂点を含む）と、面内交点と、体内交点とをその頂点とする。

辺上交点： 形状データの面、辺又は内部と、ボクセルの辺（頂点を含む）との交点。

面内交点： 形状データの辺と、ボクセル面との交点

体内交点： 形状データの頂点と、ボクセルの内部との交点

各交点： 辺上交点、面上交点、体内交点の一部又は全部。

辺上頂点： 干渉多面体の頂点であり辺上交点でもある点。分割対象多面体の頂点は、辺上頂点とボクセル頂点のみである。

面内頂点： 干渉多面体の頂点であり、面内交点である点。ある実施例では、面内頂点は、辺上頂点へと移動される。

体内頂点： 干渉多面体の頂点であり、体内交点である点。ある実施例では、体内交点は、辺上頂点へと移動される。

頂点縮約： 干渉多面体の頂点を移動又は 1 つにまとめて、干渉多面体の形状を簡略化する処理。

分割対象多面体： 干渉多面体の面内頂点と体内頂点を辺上頂点に移動した後、頂点縮約を行ってできる多面体。

いびつ： 多面体について、面の縦横比が大きすぎる場合、面の面積に対し要素の高さが高すぎる場合、面の面積に対し要素の高さが低すぎる場合をいびつとする。

処理不能： 分割対象多面体から要素を生成する過程で、処理が行えなかった時、これを処理不能と呼ぶ。処理不能は、一時的な処理結果であり、その分割対象多面体の処理が完全に不能である訳ではない。処理不能となるのは、次の場合である。第 1 に、ペアデータが作成できない場合。第 2 に、要素生成に使用され

ないペアデータがある（いびつまたは微少な要素が生成されたときに起こる）。

処理不能ボクセル： 処理不能と判定されたボクセル

内外判定値： 各交点毎に定義され、交点の存在する辺の方向と形状データの内外の関係を示す値。値には、「+」、「-」、「境界」がある。

ボクセル底面： 要素を切り出す際に基準とするボクセル面。各ボクセル毎に定義される。ボクセルのどの面をボクセル底面とするかは、所定の要件によって定め、必要に応じて変更する。

ボクセル上面： ボクセル底面の対面（ボクセル底面の法線に直交する面）のボクセル面。

ボクセル側面： ボクセル底面でもボクセル上面でもないボクセル面。ボクセル底面の法線方向に平行な面を持つ4つのボクセル面の全部又は一部。

底面： ボクセル底面に含まれる内部ボクセル面。この内部ボクセル面は、分割対象多面体の一部を成す。

上面： 手面の対と扱われる面

底面構成データ14： 分割対象多面体の全ての頂点を上面側と底面側とに分ける場合に、底面側に属する頂点の集合を示すデータ。また、底面側の頂点にて定義される底面側の辺と面の集合。

上面構成データ15： 分割対象多面体の全ての頂点のうち、底面構成データ14に属さない頂点の集合を示すデータ。また、上面側の頂点にて定義される上面側の辺と面の集合。

辺データ： 底面構成データ14又は上面構成データ15に含まれる辺のうち、外周にある辺のデータ。

対角線データ： 底面構成データ14又は上面構成データ15に含まれる辺のうち、辺データ以外のデータ。

頂点検索直線： 分割対象多面体の頂点の位置を探索するために辺データ外周を走査する直線

頂点番号： 分割対象多面体の頂点に対して、頂点検索直線の走査方向に応じて順番に付される頂点の番号

ペア番号： 頂点が検索された位置での頂点検索直線と等しい直線に付される

番号で、その後ペアの番号へと操作される。

ペアデータリスト： 底面構成データ 1 4 の辺データに含まれる頂点と、上面構成データ 1 5 の辺データに含まれる頂点との一対一の対応関係を所定の番号順に並べたリスト

ペアデータ： ペアデータリストから番号順にデータを抜き出した時の 1 つ 1 つのデータ。

ペア： ペアデータのうち、底面構成データ 1 4 と上面構成データ 1 5 との対応がとれているものを、ペアと呼ぶ。

節点： 要素データの頂点

【 0 1 3 6 】

【発明の効果】

本発明は以上のように構成され機能するので、これによると、分割対象多面体作成工程が、干渉多面体を簡略化した分割対象多面体を生成し、要素抽出工程が、この分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて要素を抽出するため、要素の抽出手法に応じて、分割対象多面体の形状を簡略化した後に要素抽出を行うことができ、従って、1 つのボクセルに 2 つ以上の干渉面が存在する場合であっても、処理を発散させずに完了させることができ、また、例えば、分割対象多面体の頂点をボクセルの辺上の点に限定すると、要素抽出工程は、この分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて、例えば、分割対象多面体の一面を底面としたときの底面に垂直な平面を定義し、この平面と各頂点とを用いて単純な形状の要素を抽出することができ、このため、ボクセルに 2 面以上の干渉面があるような場合であっても、要素抽出手法に応じた精度で解析モデルの要素を抽出することができ、従って、複雑な形状の解析対象物であっても、解析精度を悪化させずに要素数を削減しつつ、形状データから要素への分割を自動化することができる、という従来にない優れた解析モデルデータ作成方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態の構成例を示すフローチャートである。

【図 2】

図 1 に示すフローチャートで使用する各データの一例を示す説明図であり、図 2 (A) は形状データと干渉しているボクセルデータの一例を示す図で、図 2 (B) は干渉多面体の一例を示す図で、図 2 (C) は分割対象多面体の一例を示す図で、図 2 (D) は解析ソルバに入力する要素の例を示す図である。

【図 3】

本発明の実施例の全体構成例を示すフローチャートである。

【図 4】

図 3 に示す干渉多面体作成の詳細処理例を示すフローチャートである。

【図 5】

図 4 に示す処理で用いる各交点の例を示す説明図である。

【図 6】

図 4 に示す処理で用いる内外判定値を例示する説明図であり、図 6 (A) はボクセルの辺の方向の例を示す図で、図 6 (B) は形状データの表裏とボクセル辺の関係によって定まる内外判定値を示す図である。

【図 7】

図 4 に示す処理にて作成する干渉多面体の例を示す説明図であり、図 7 (A) は形状データとボクセルとの干渉の例を示す図で、図 7 (B) はボクセルの内側に存在する形状データの外形からなる干渉面の例を示す図で、図 7 (C) はボクセルの各面の内、形状データの内部領域となる内部ボクセル面の例を示す図で、図 7 (D) は干渉面と内部ボクセル面とからなる干渉多面体の一例を示す図である。

【図 8】

面内交点（及び体内交点）を含む場合の干渉面の表裏判定の例を示す説明図であり、図 8 (A) は辺上交点のみからなる場合を示す図で、図 8 (B) は面内交点を含む場合を示す図で、図 8 (C) は面内交点を使用した干渉面の表裏判定の一例を示す図である。

【図 9】

図 3 に示す分割対象多面体作成処理の一例を示すフローチャートである。

【図 1 0】

図 9 に示す処理の具体的な一例を示す説明図であり、図 1 0 (A) は縮約処理の一例を示す図で、図 1 0 (B) は内部ボクセル頂点に挟まれた辺上頂点を一方の内部ボクセル頂点へ移動させる一例を示す図である。

【図 1 1】

図 3 に示す要素抽出処理の一例を示すフローチャートである。

【図 1 2】

図 1 1 に示す処理で用いる分割処理対象多面体の一例を示す説明図であり、図 1 2 (A) は上面がボクセル上面に含まれる場合の一例を示す図で、図 1 2 (B) は上面が平行なボクセル上面に含まれず、且つ上面が底面と辺を共有しない場合の一例を示す図で、図 1 2 (C) は、上面と底面とが辺を要求する例を示す図である。

【図 1 3】

図 1 1 に示す底面の変更処理を説明するための説明図であり、図 1 3 (A) は面積の一番大きい内部ボクセル面を底面とした例を示す図で、図 1 3 (B) はその底面を変更した例を示す図で、図 1 3 (C) 及び (D) は変更した底面を基準として分割した例を示す図である。

【図 1 4】

図 3 に示す抽出前処理の一例を示すフローチャートである。

【図 1 5】

図 1 4 に示す抽出前処理でのペアデータの取扱例を示す説明図であり、図 1 5 (A) は分割対象多面体に定義するペアデータの一例を示す図で、図 1 5 (B) は初期状態でのペアデータリストの一例を示す図で、図 1 5 (C) はペア生成後のペアデータリストの一例を示す図である。

【図 1 6】

図 1 4 に示す抽出前処理でのペアデータに射影点が含まれる場合の取扱例を示す説明図であり、図 1 6 (A) は分割対象多面体に定義するペアデータの一例を示す図で、図 1 6 (B) は初期状態でのペアデータリストの一例を示す図である。

【図 1 7】

図 1 4 に示す抽出前処理でのペアデータに同一の頂点から複数の頂点へのペアが含まれる場合の取扱例を示す説明図であり、図 1 7 (A) は分割対象多面体に定義するペアデータの一例を示す図で、図 1 7 (B) は初期状態でのペアデータリストの一例を示す図である。

【図 1 8】

図 1 7 に示すペアデータを操作してペアを特定する処理例を示す説明図であり、図 1 8 (A) は第 1 のペア特定処理を行った例を示す図で、図 1 8 (B) は第 2 及び第 3 のペア特定処理を行った例を示す図である。

【図 1 9】

図 3 等にした抽出処理の具体例を説明するための説明図であり、図 1 9 (A) 乃至 (C) は一般的な解析ソルバで使用できる要素の形状例を示す図で、図 1 9 (D) は抽出する六面体要素の例を示す説明図である。

【図 2 0】

図 2 0 (A) 乃至 (D) は抽出する五面体要素の例を示す説明図である。

【図 2 1】

図 2 1 (A) 乃至 (E) は抽出する四面体要素の例を示す説明図である。

【図 2 2】

抽出しようとする要素の形状がいびつである場合の頂点縮約処理例を示す説明図であり、図 2 2 (A) はいびつな部分を含む分割対象多面体の例を示す図で、図 2 2 (B) は正常に抽出した要素の例を示す図で、図 2 2 (C) は形がいびつであるため取り出さない要素の例を示す図で、図 2 2 (D) はこのいびつな要素を排除するための頂点縮約の例を示す図で、図 2 2 (E) は頂点縮約した分割対象多面体から要素を抽出した例を示す図である。

【図 2 3】

ボクセルデータをオクトツリー構造とした例を示す説明図である。

【図 2 4】

本発明による解析モデルデータ作成装置の実施形態の構成例を示すブロック図である。

【図 2 5】

本実施例による解析モデルデータをコンロッドに適用した結果を示す図表である。

【図 2 6】

図 2 5 に示したコンロッドの解析結果の一例を示す説明図であり、図 2 6 (A) は従来例での解析結果を示す図で、図 2 6 (B) は本実施例での解析結果を示す図である。

【図 2 7】

ボクセルの形状フィットを行わない解析モデルデータの一例を示す説明図であり、図 2 7 (A) はその全体を示す図で、図 2 7 (B) は一部拡大図である。

【図 2 8】

本実施例により形状フィットを行った解析モデルデータの一例を示す説明図であり、図 2 8 (A) はその全体を示す図で、図 2 8 (B) は一部拡大図である。

【図 2 9】

本実施例による解析モデルデータをシリンダーブロックに適用した結果を示す図表である。

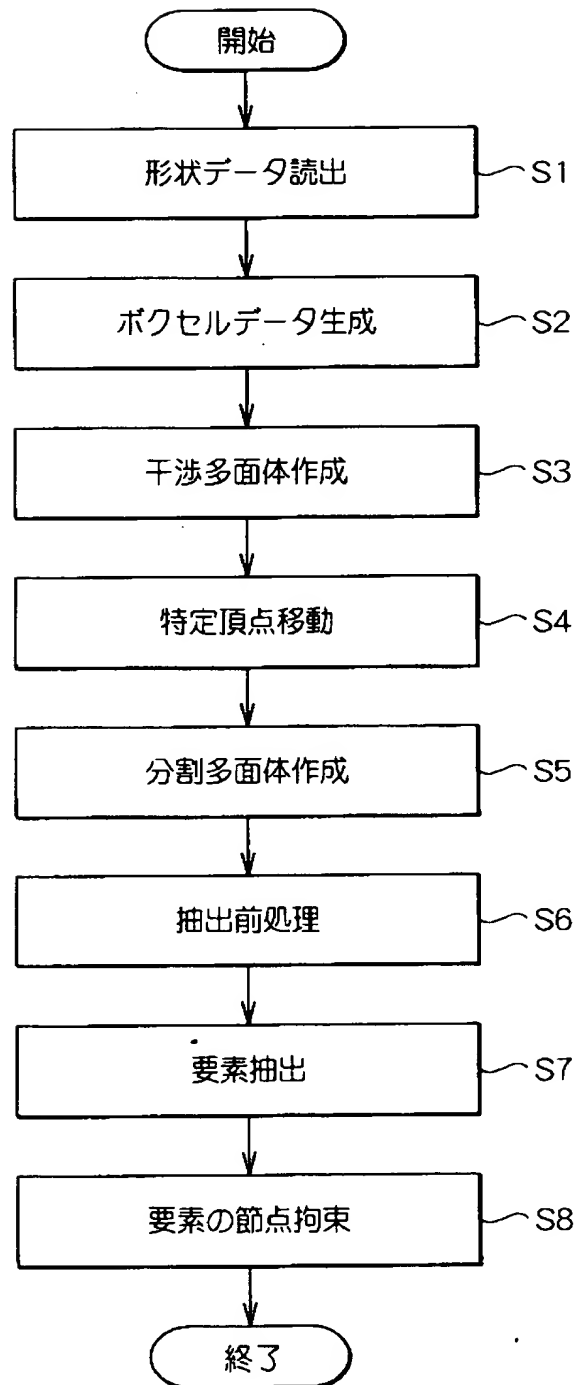
【符号の説明】

- 1 ボクセル (主に、処理対象ボクセル)
- 2 形状データ (例えば S T L データ)
- 3 干渉多面体
 - 3 A 干渉面
 - 3 B 内部ボクセル面
- 4 分割対象多面体
 - 6 A 干渉多面体の辺上交点又は分割対象多面体の辺上頂点
 - 6 B 干渉多面体の面内交点
 - 6 C 干渉多面体の体内交点
- 7 A 要素を抽出する底面に垂直な平面
- 7 B 要素を抽出する辺等

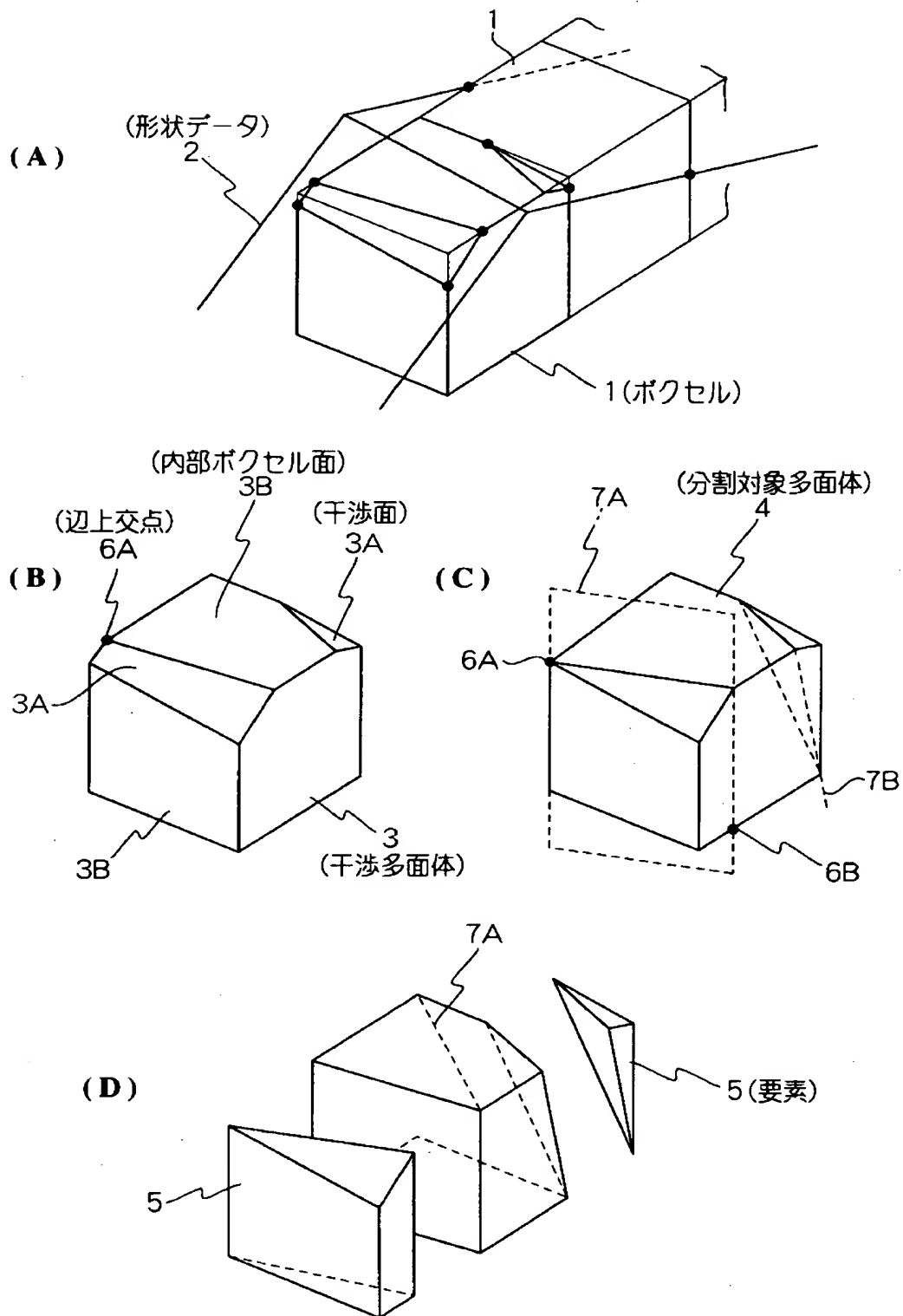
【書類名】

図面

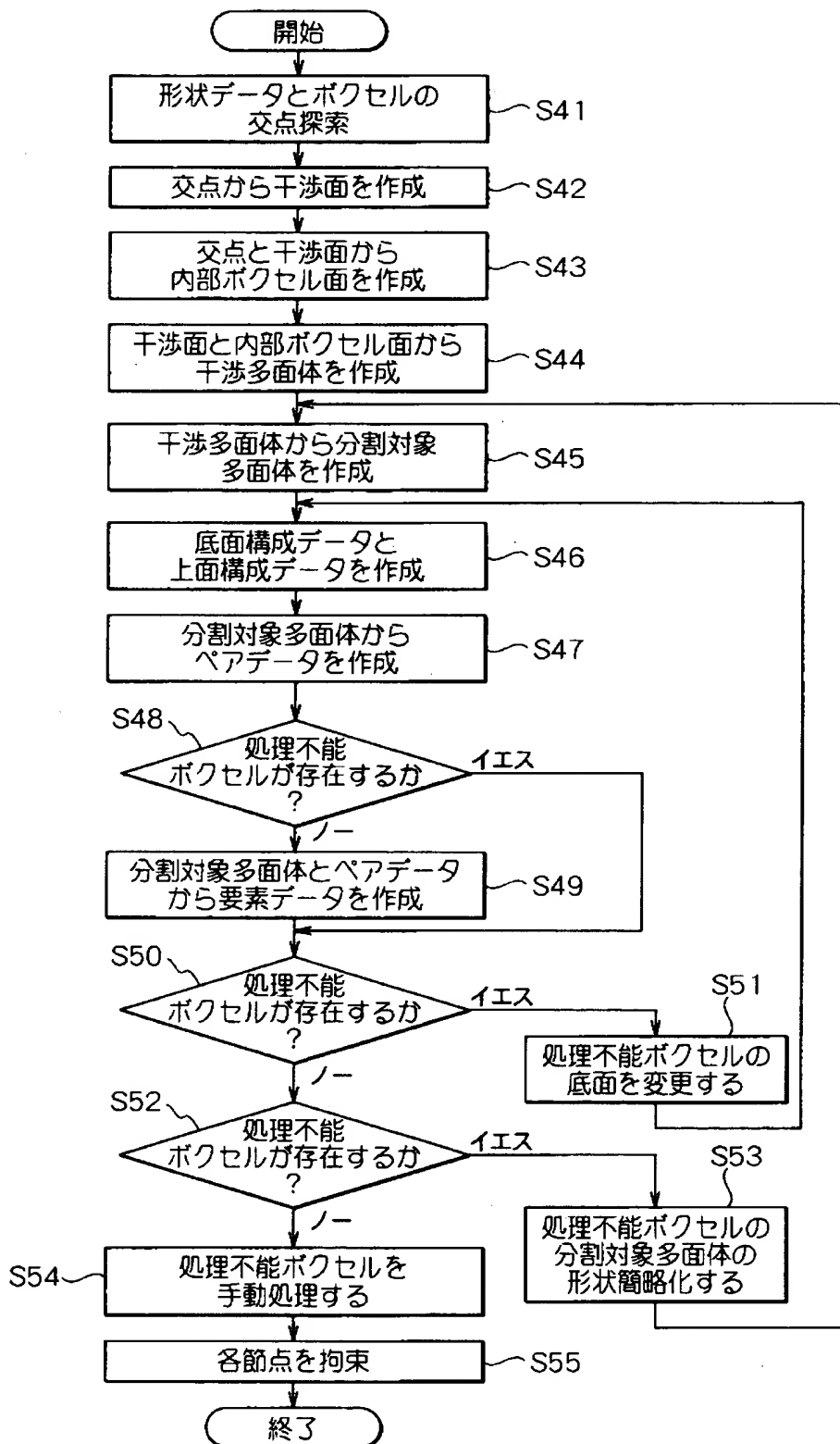
【図 1】



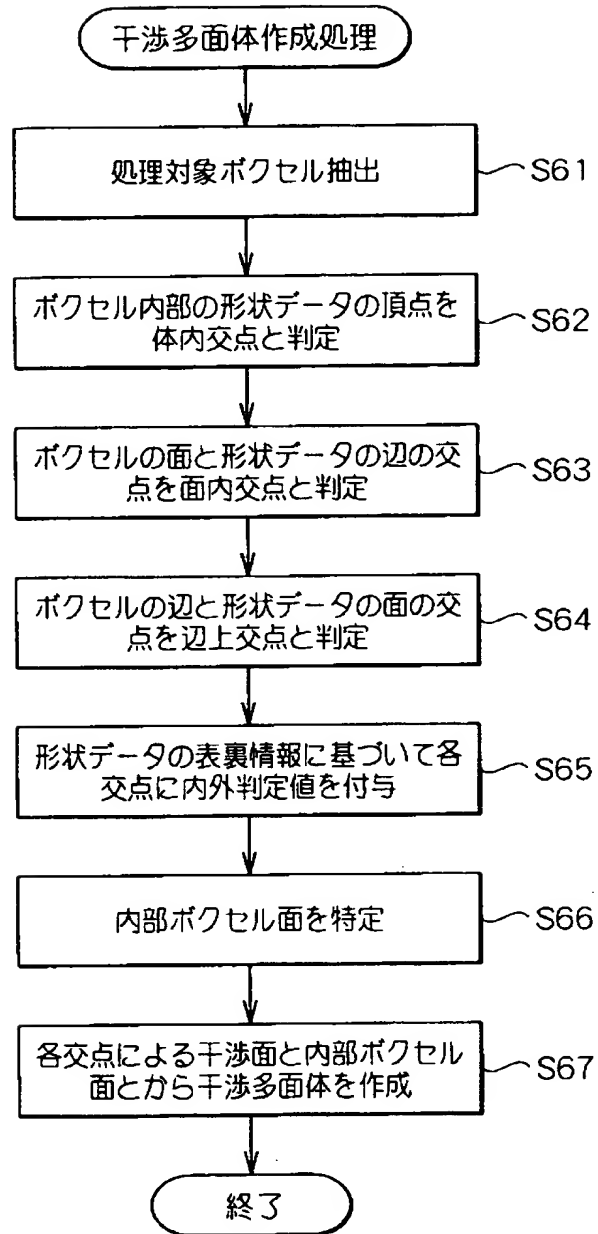
【図 2】



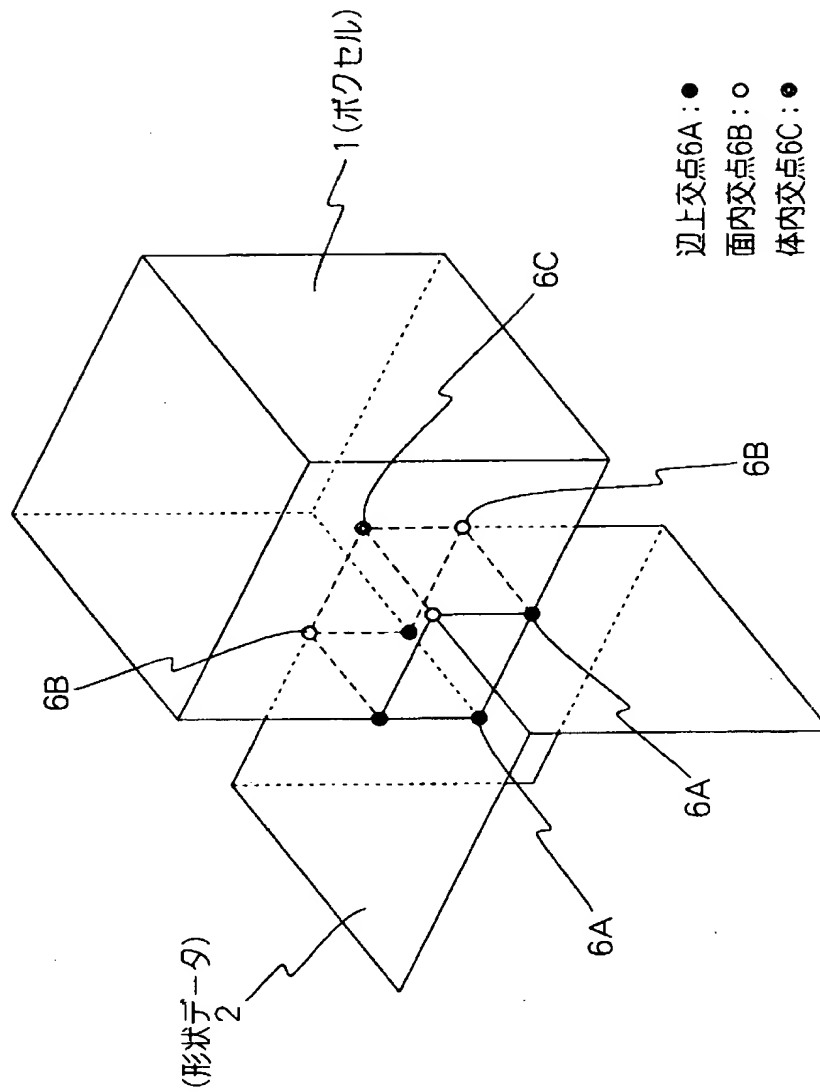
【図 3】



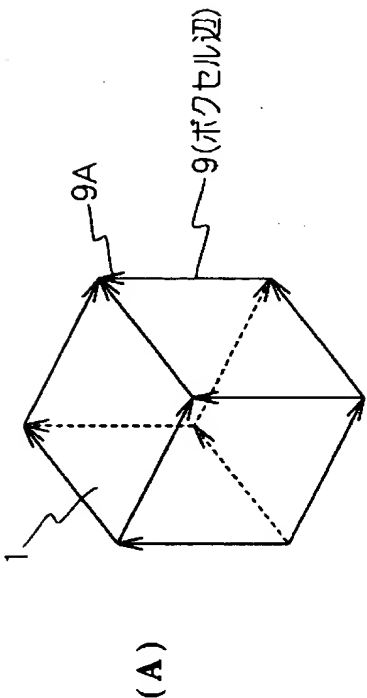
【図 4】



【図 5】



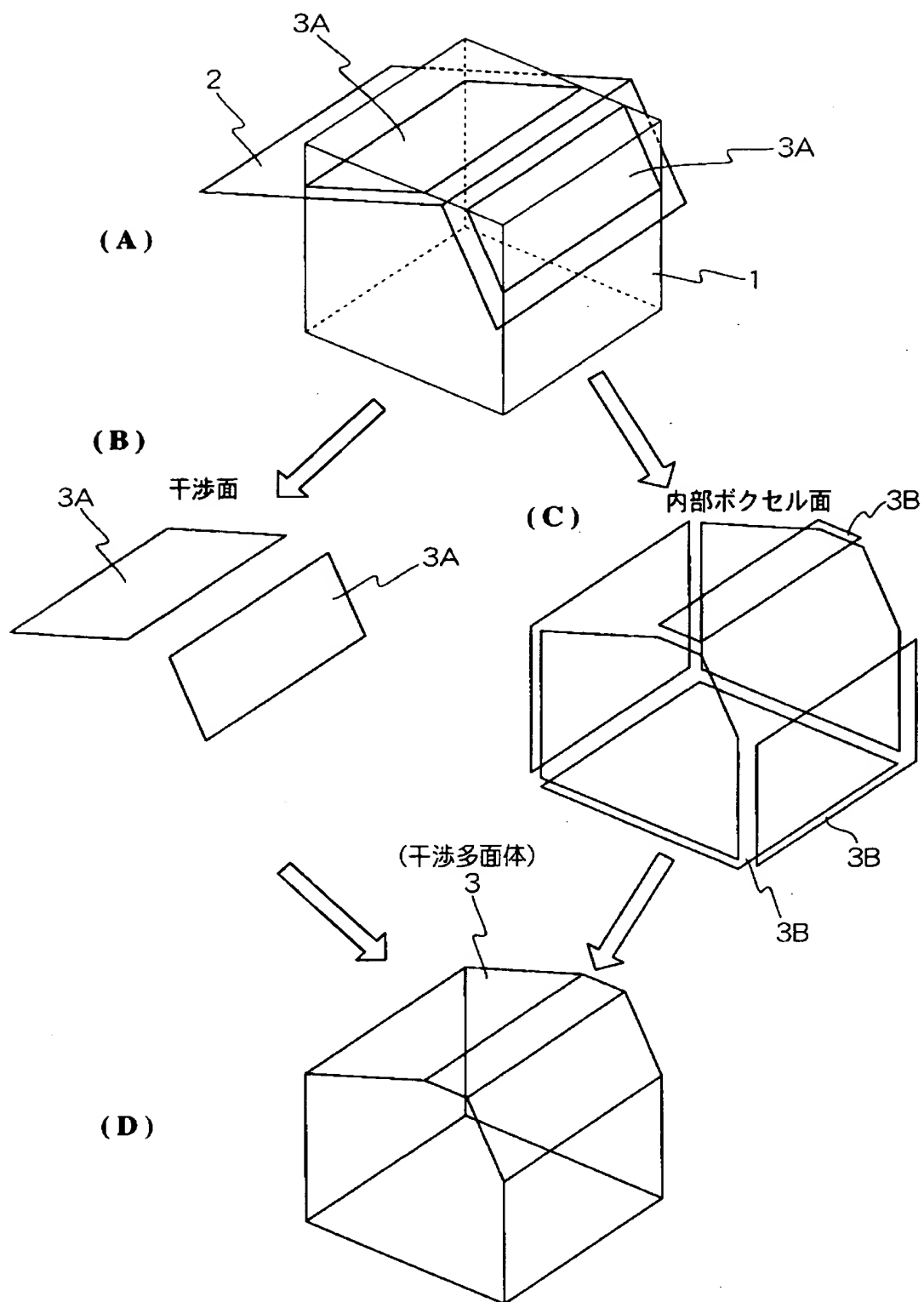
【図 6】



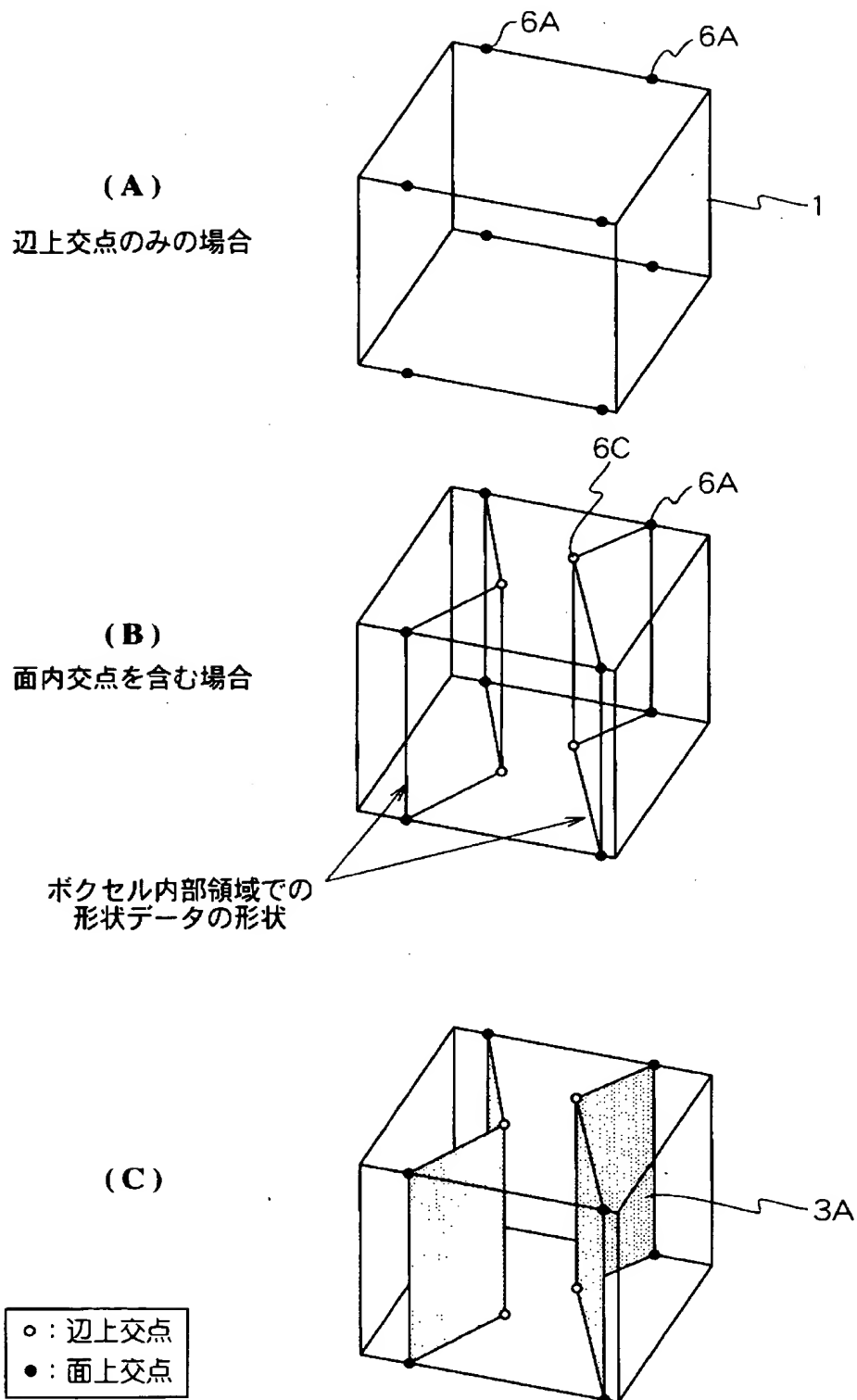
形状データの表裏		(2) 辺の正方向が内側、 負方向が外側 ↓ 「-」		(3) 辺の両方とも 境界上 ↓ 「境界」
内外判定値	(1) 辺の正方向が外側、 負方向が内側 ↓ 「+」			

(B)

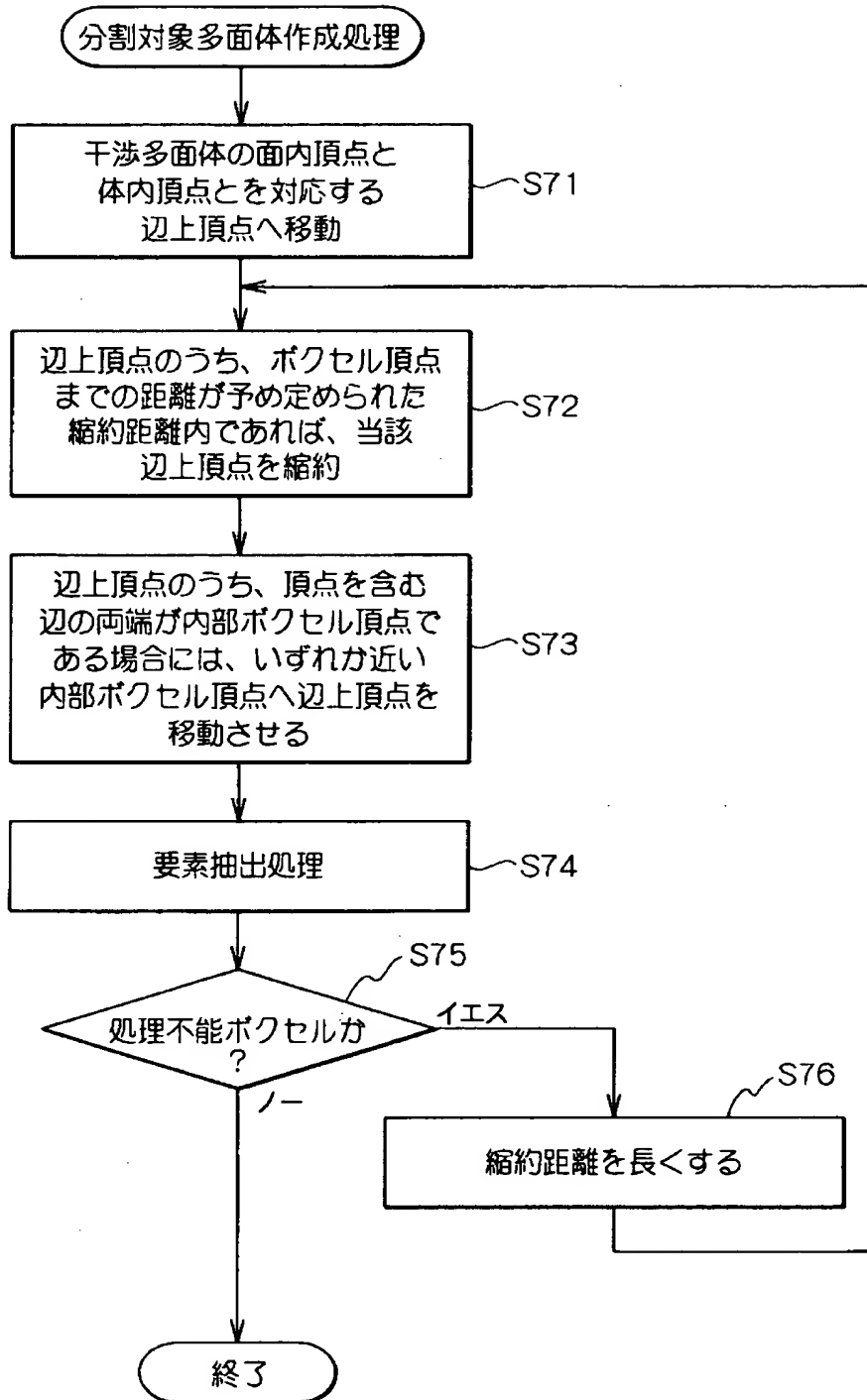
【図 7】



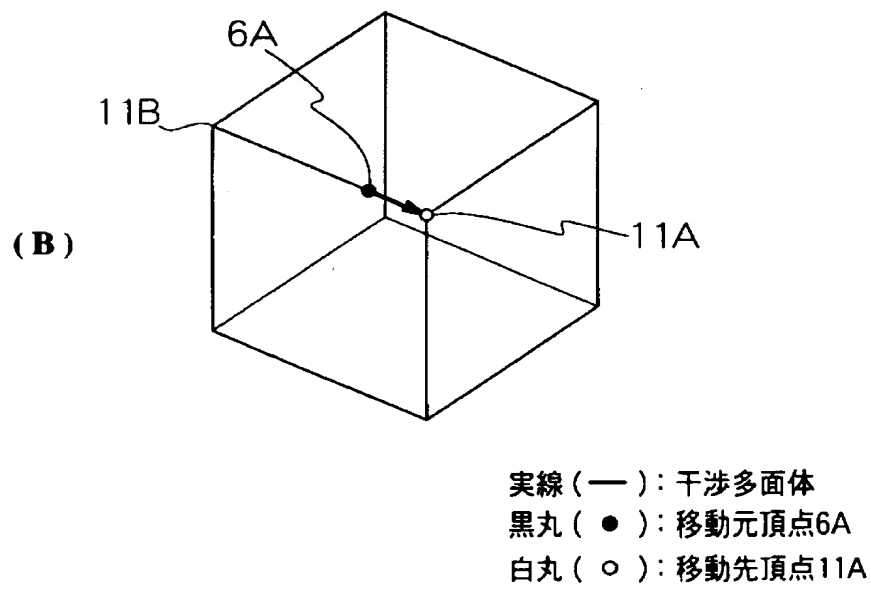
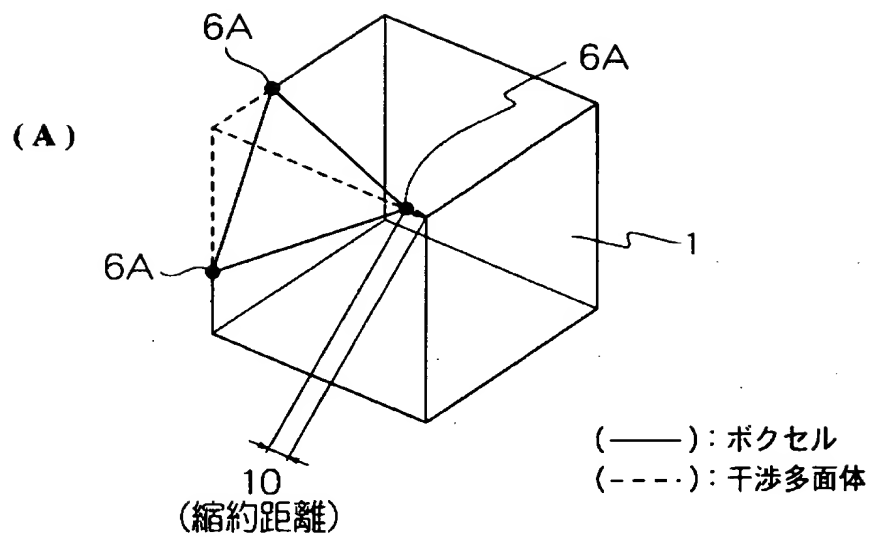
【図 8】



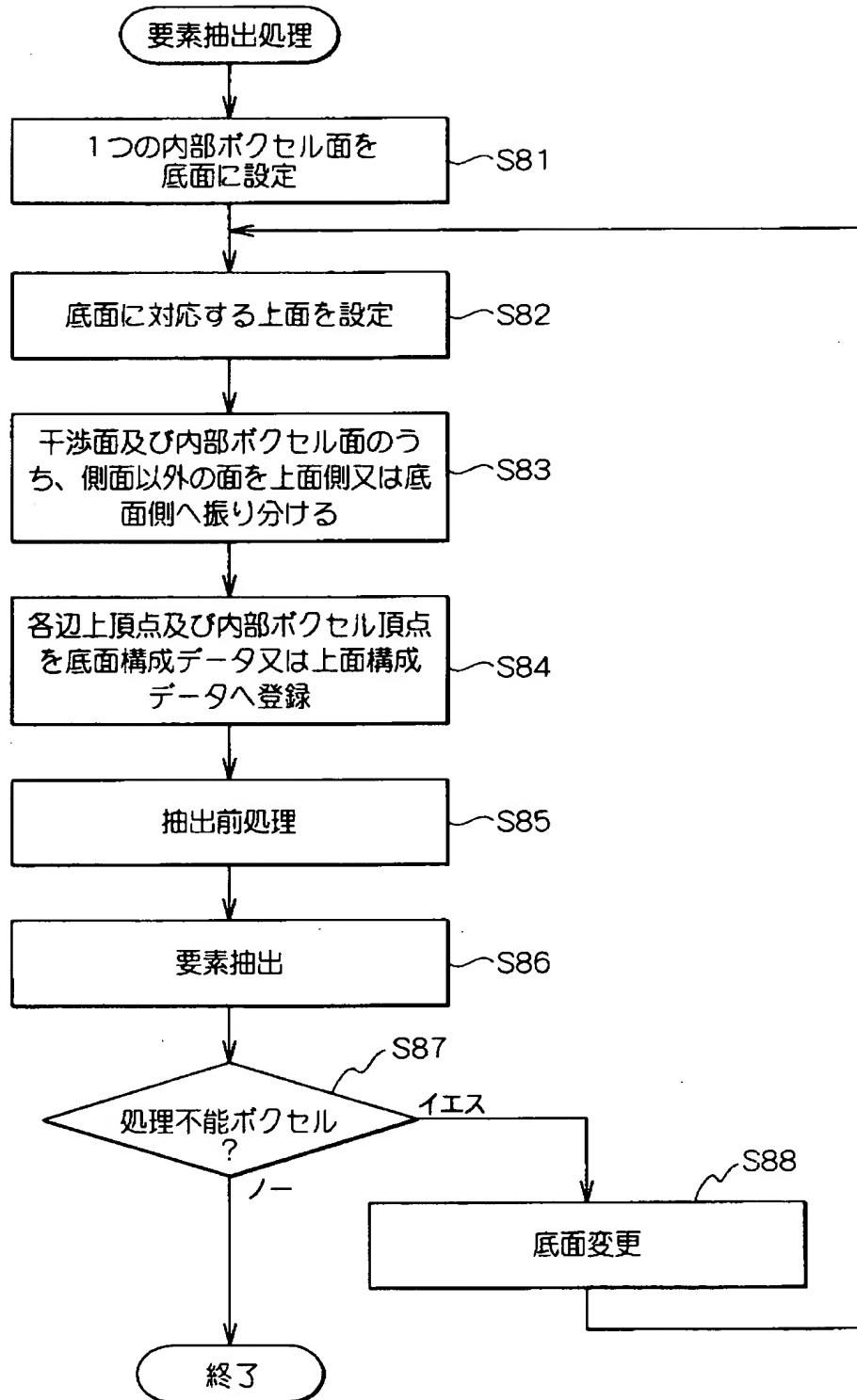
【図 9】



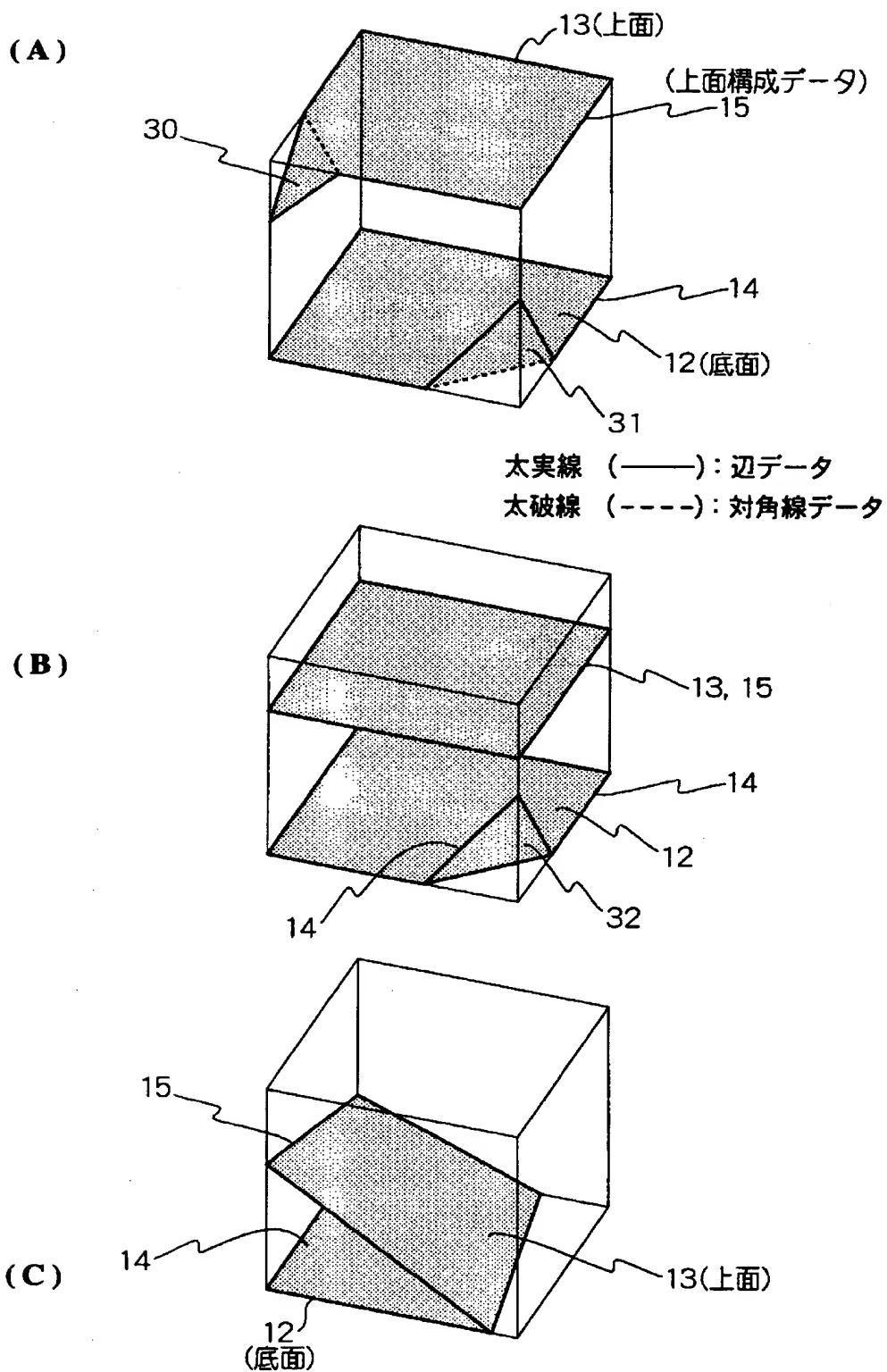
【図 1 0】



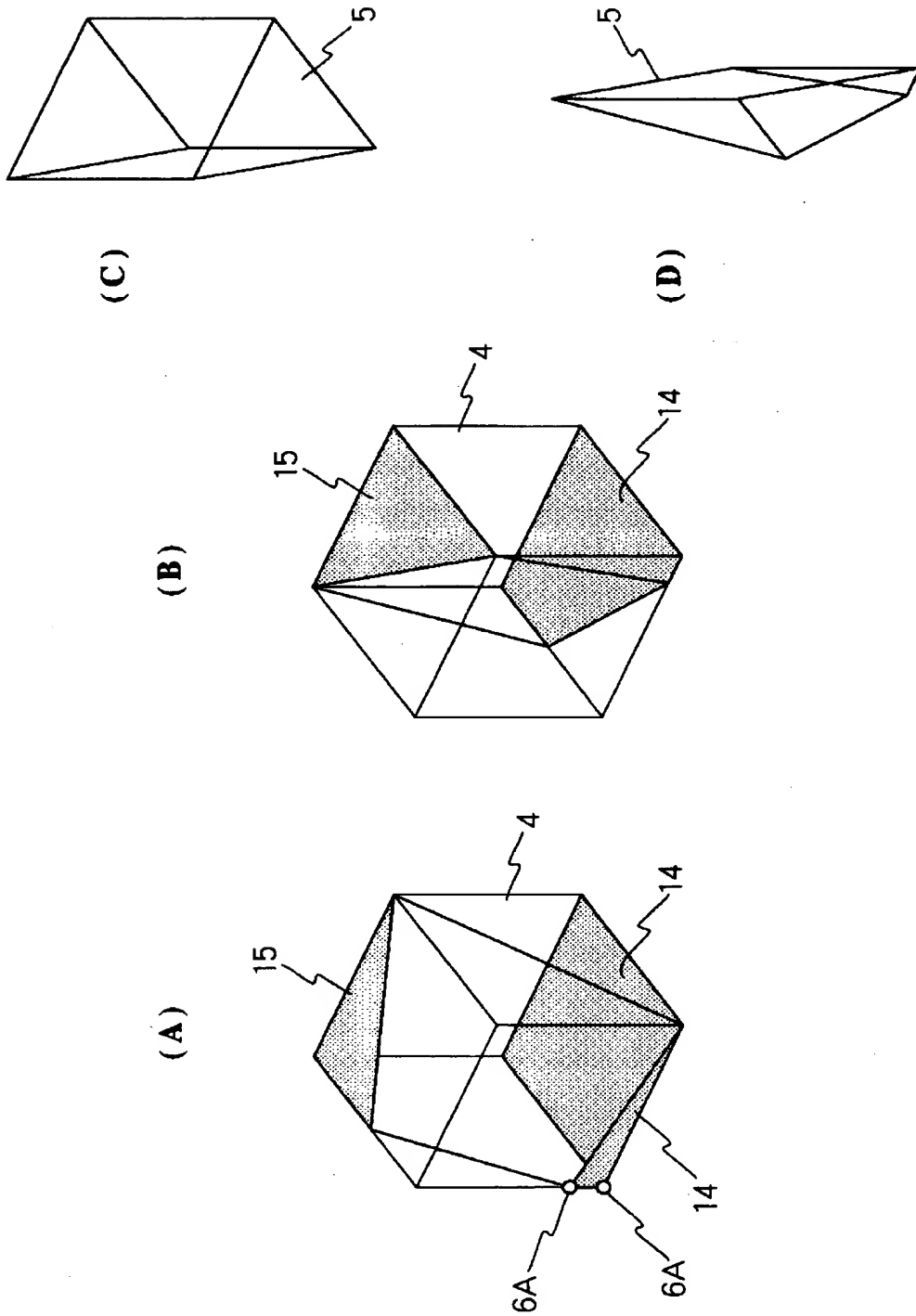
【図 1 1】



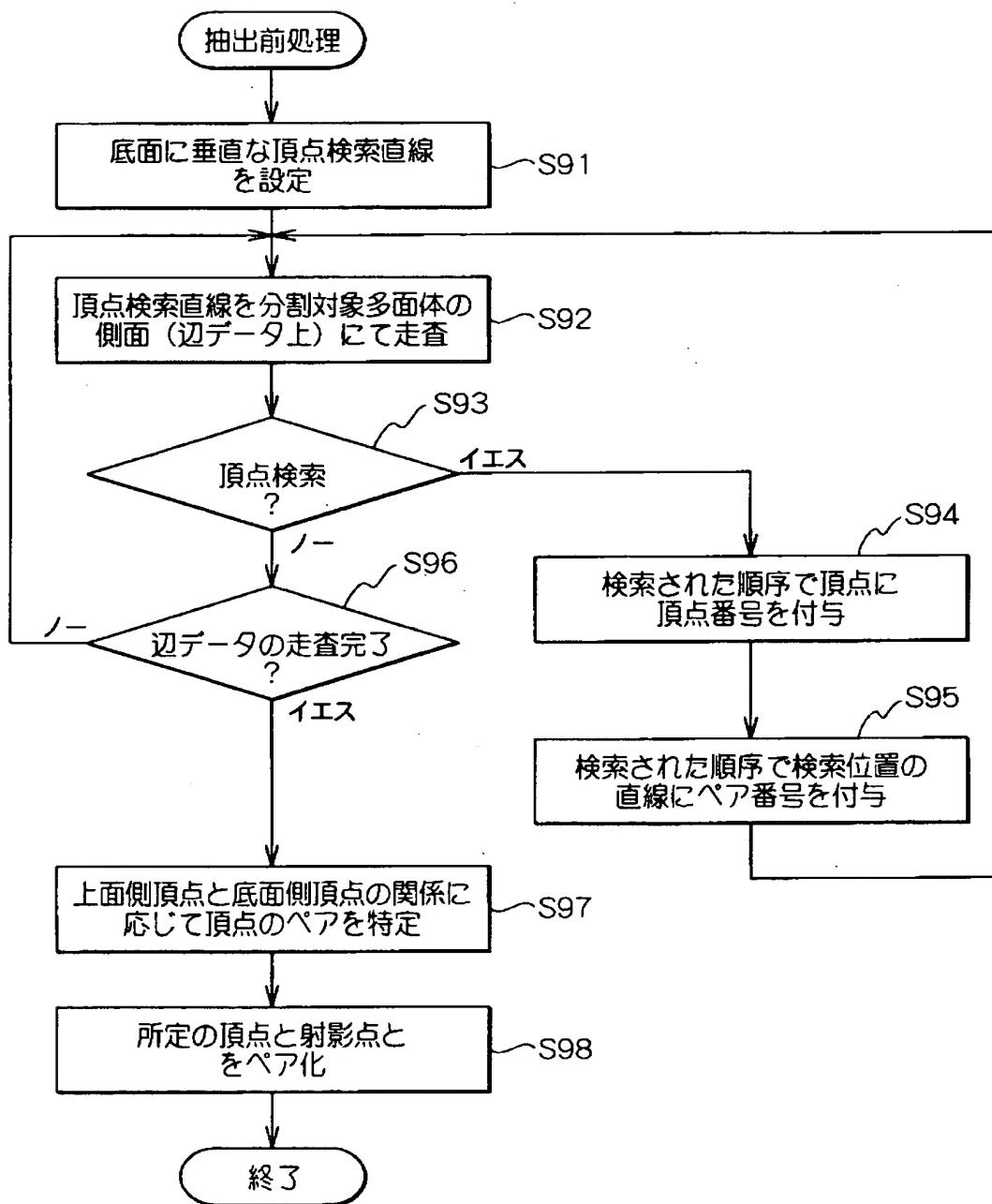
【図 12】



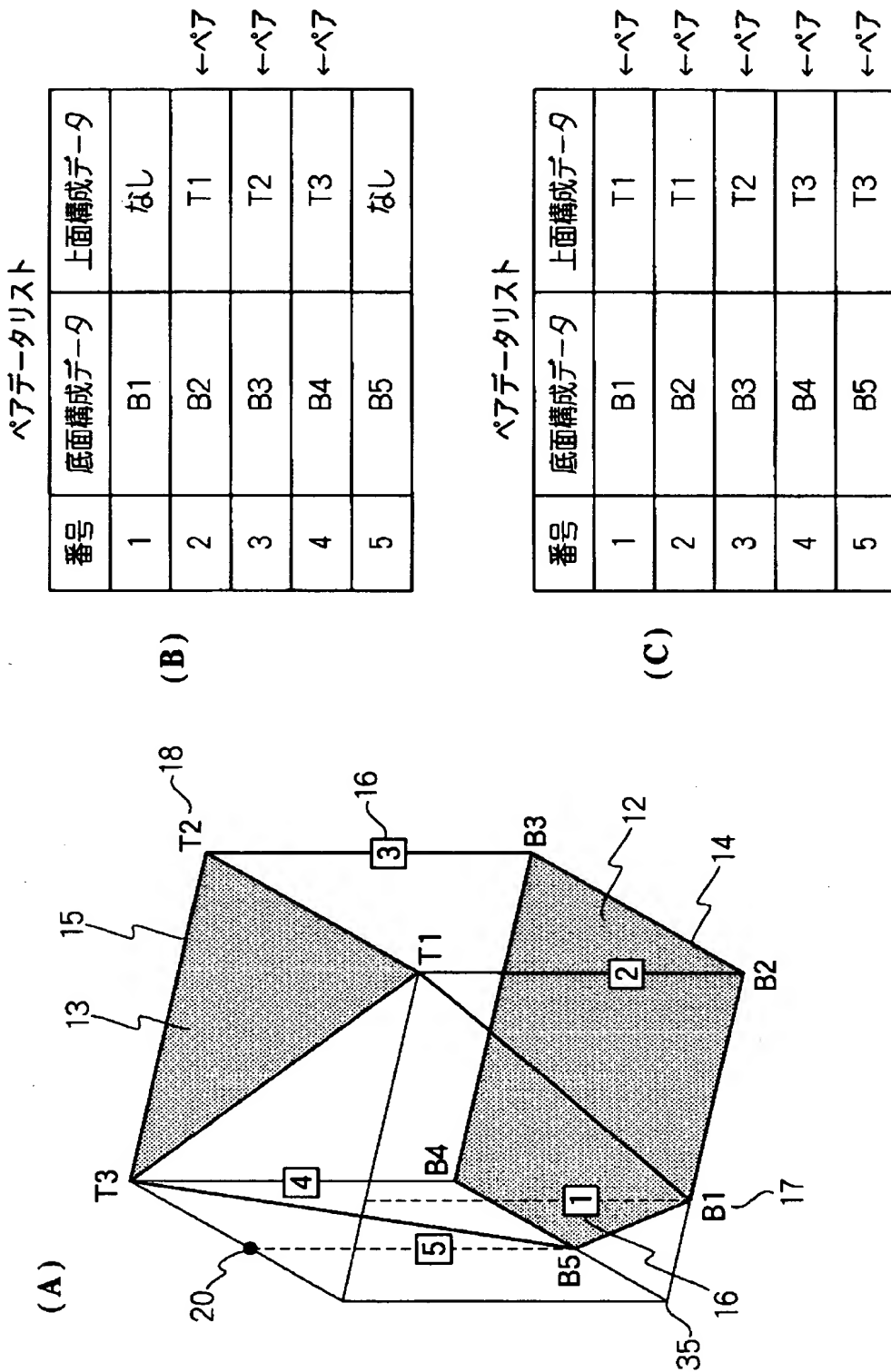
【図13】



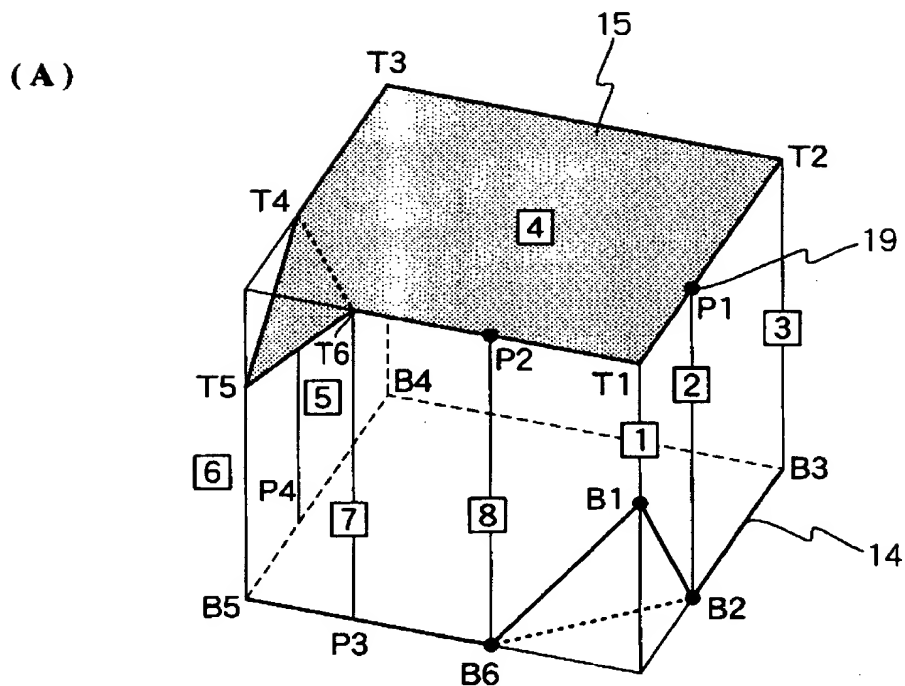
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



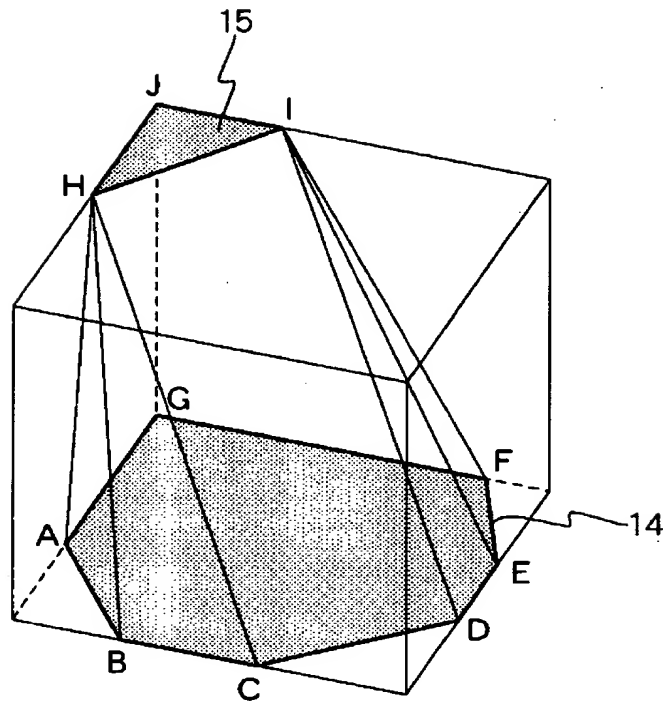
(B)

ペアデータリスト

ペア番号	底面構成データ	上面構成データ
1	B1	T1
2	B2	P1 → T2
3	B3	T2 → T3
4	B4	T3 → T4
5	P4 → B5	T4 → T5
6	B5 → B6	T5 → T6
7	P3 → B7	T6 → T7
8	B6 → B8	P2 → T8

【図 17】

(A)



(B)

ペアデータリスト

ペア番号	底面構成データ	上面構成データ
1	A	
2	B	
3	C	
4	D	
5	E	
6	F	
7		I
8	G	J
9		K

【図 18】

(A)

ペアデータリスト

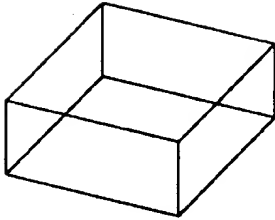
ペア番号	底面構成データ	上面構成データ
1	A	H
2	B	
3	C	
4	D	
5	E	
6	F	I
7	G	J

(B)

ペアデータリスト

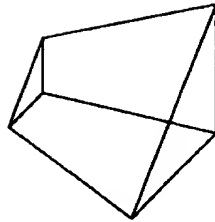
ペア番号	底面構成データ	上面構成データ
1	A	H
2	B	H ²¹
3	C	H ²²
4	D	I
5	E	I ²¹
6	F	I ²²
7	G	J

【図 1 9】



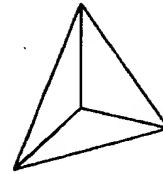
四角形6面
の六面体

(A)



三角形2面、四角形3面
の五面体

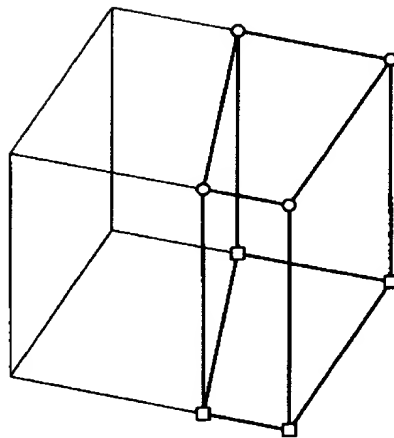
(B)



三角形4面
の四面体

(C)

(D)

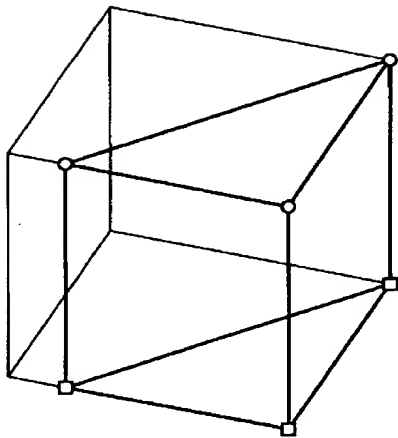


六面体要素

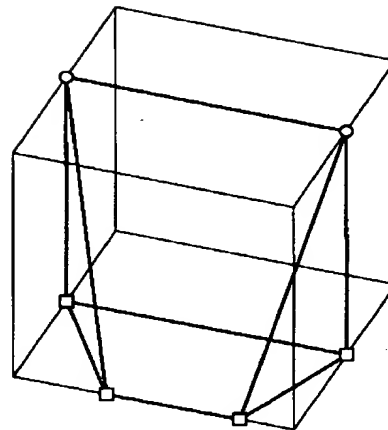
○：上面構成データの辺データの頂点
□：底面構成データの辺データの頂点

【図 2 0】

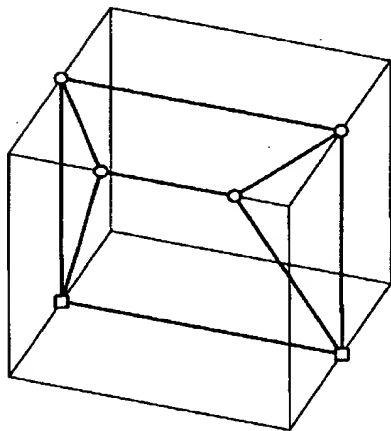
(A)



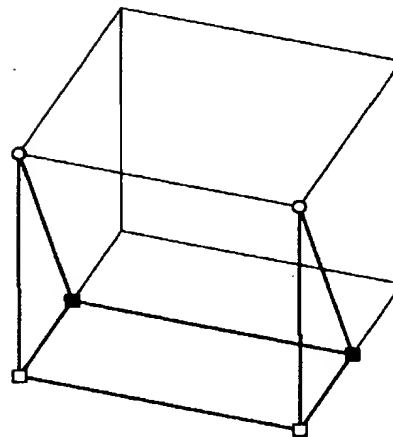
(B)



(C)

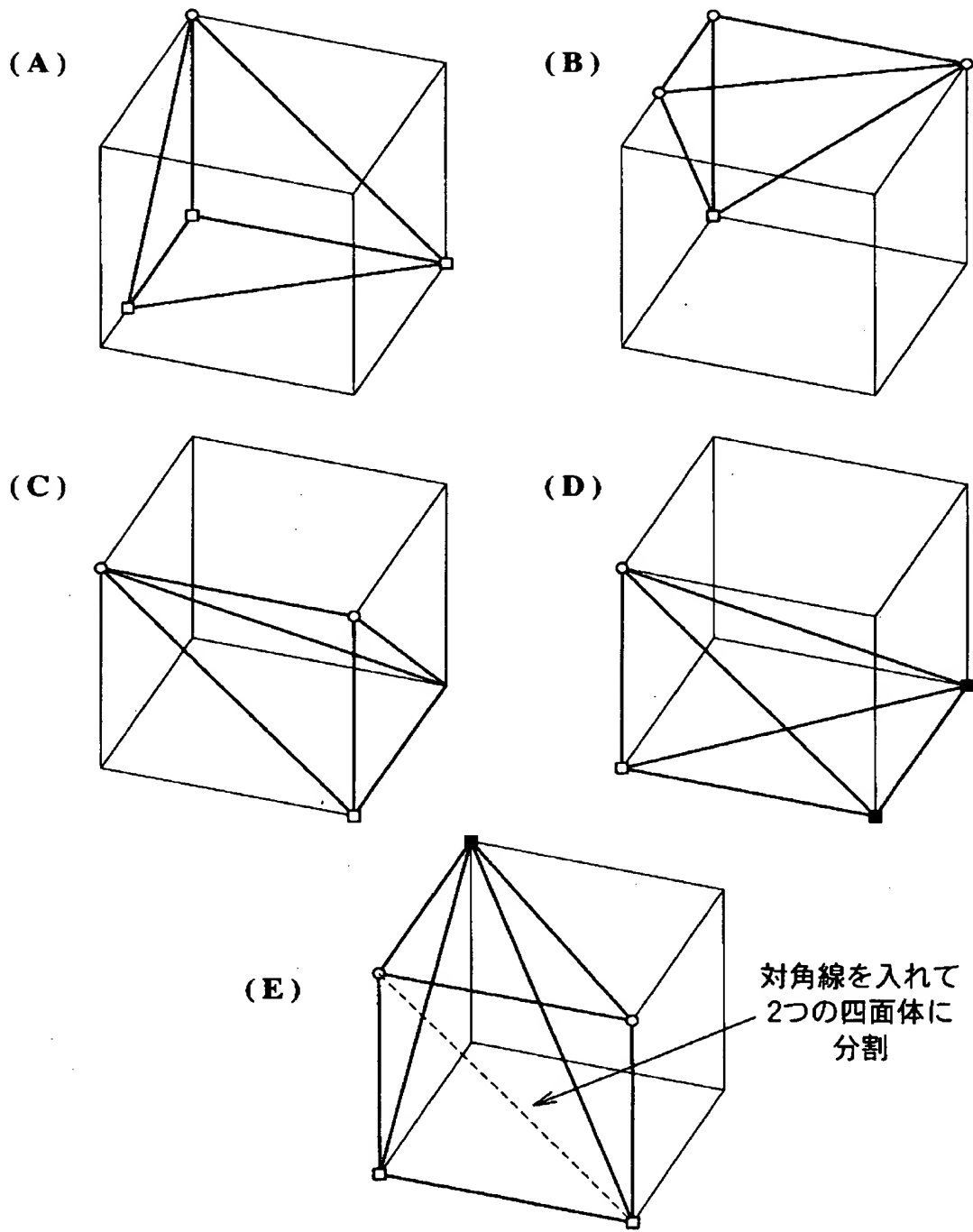


(D)



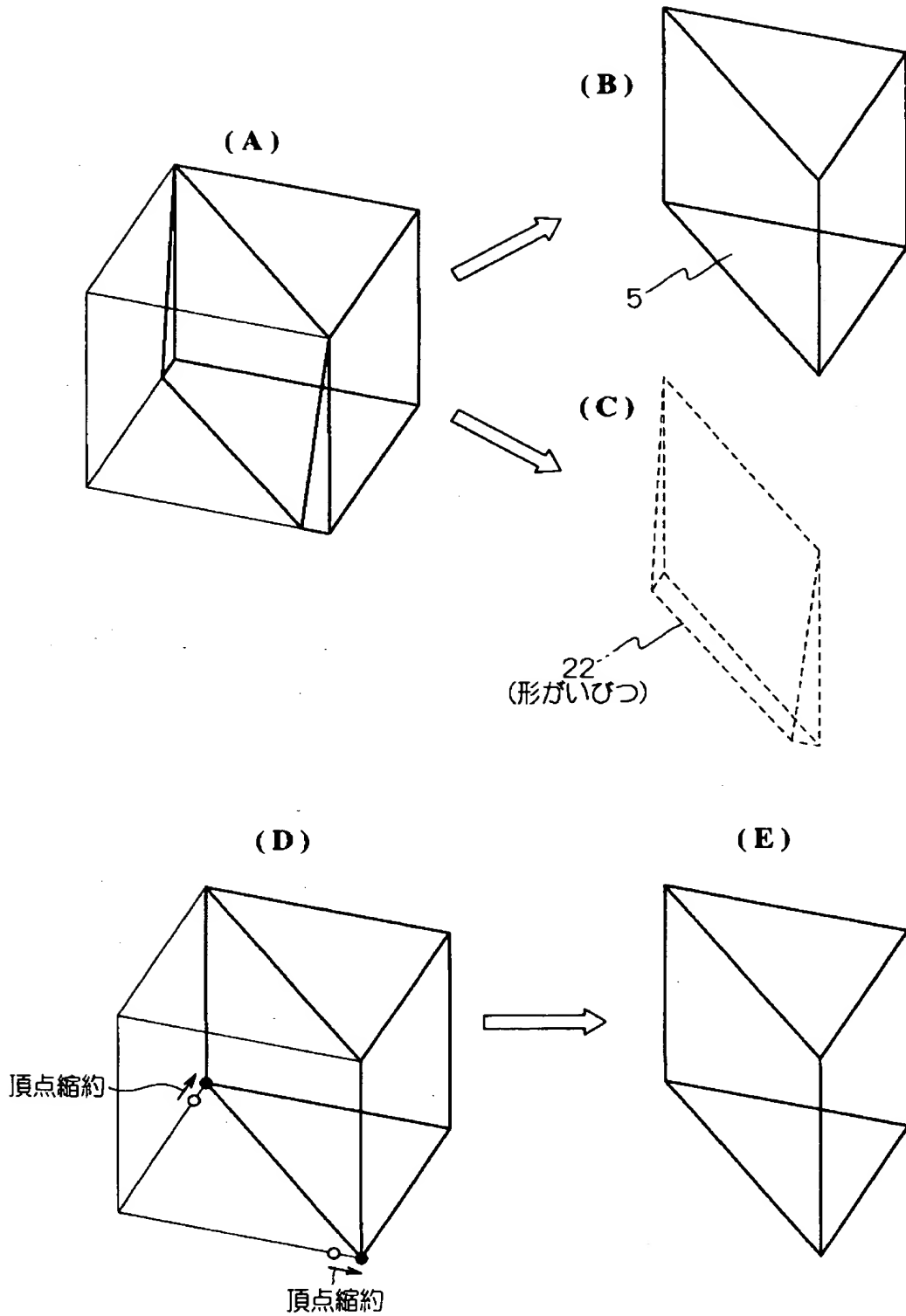
- ：上面構成データの辺データの頂点
- ：底面構成データの辺データの頂点
- ：底面構成データの辺データの頂点と
上面構成データの辺データの頂点が一致する点

【図 21】

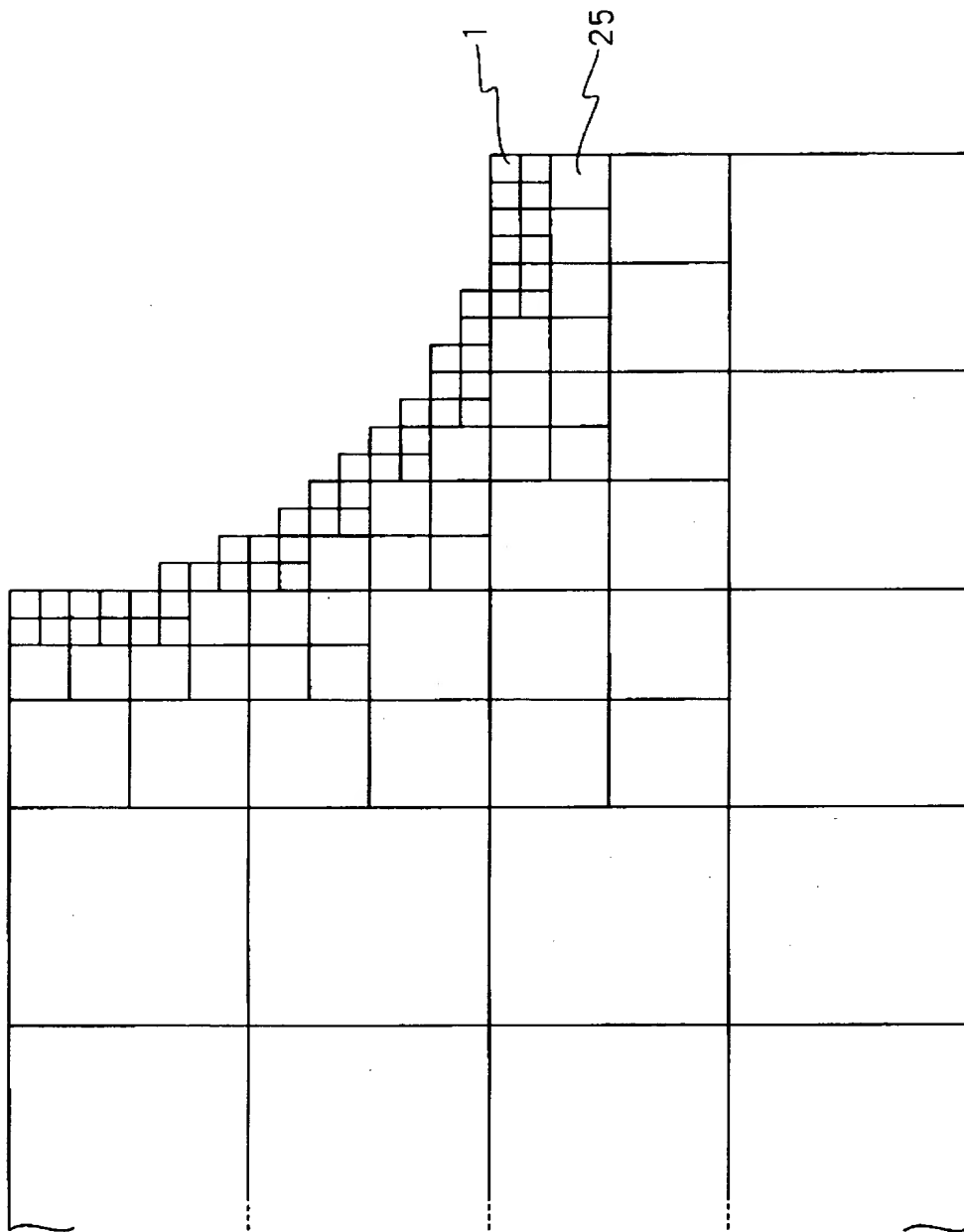


- ：上面構成データの辺データの頂点
- ：底面構成データの辺データの頂点
- ：底面構成データの辺データの頂点と
上面構成データの辺データの頂点が一致する点

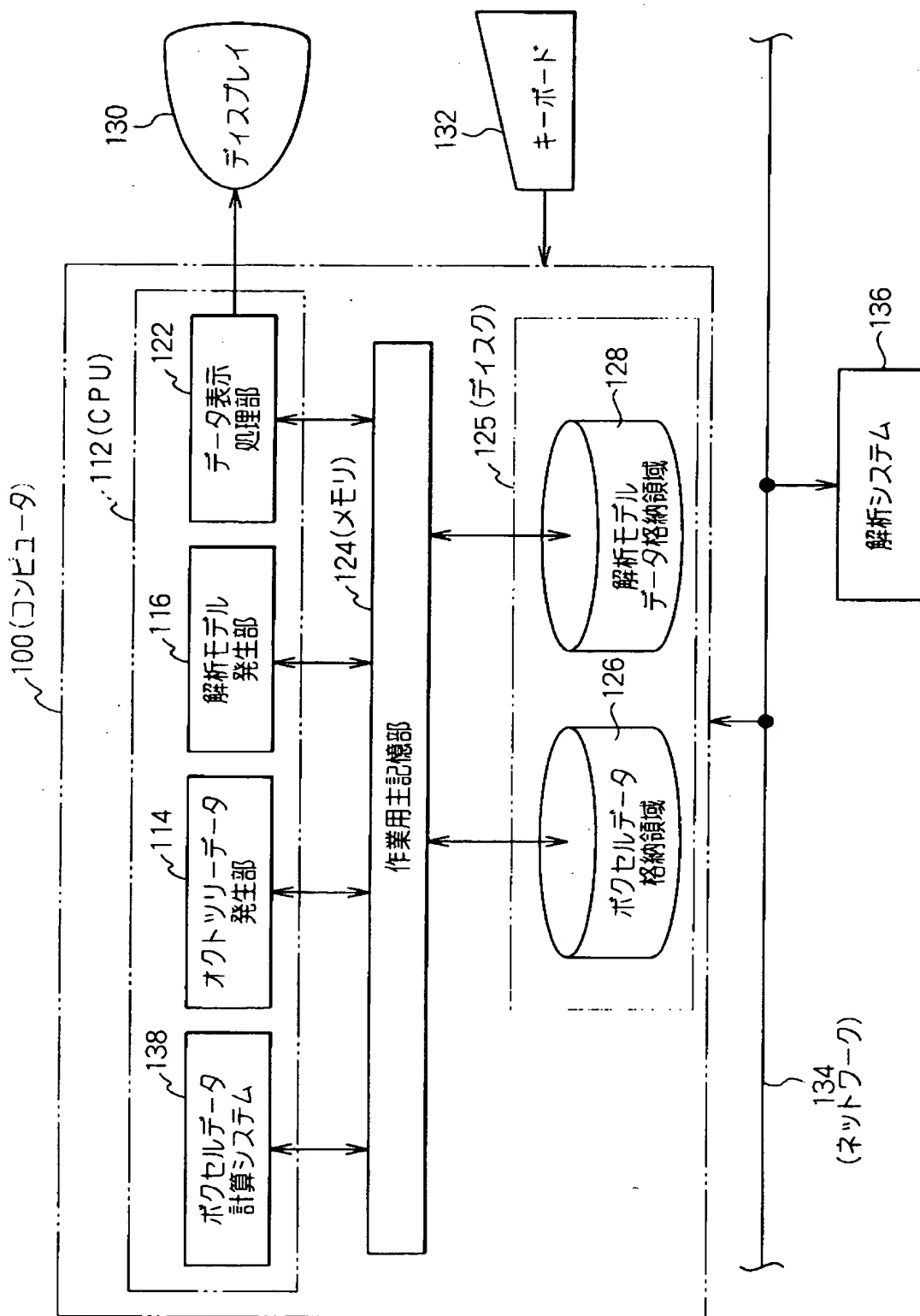
【図 22】



【図 23】



【図 24】



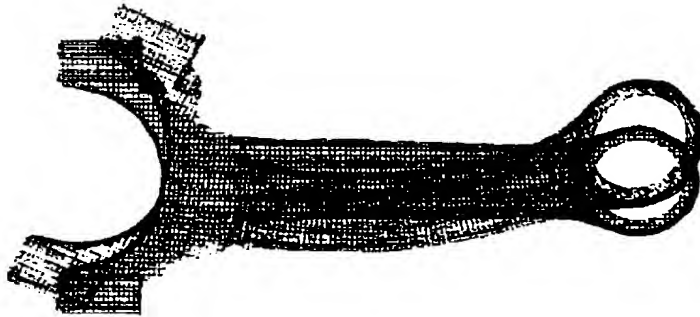
【図 2 5】

コンロッドへの本システム適用結果

解析モデル 作成方法	作成構成 [時間]	要素数	1次固有振動数 [Hz]	実験値に対する誤差 [Hz]
実験値			3535.2	
本システム	4.2	16383	3554.6	+19.5 (+0.55%)
従来方法 (I-DEAS(TM)利用四面体分割)	4.3	37131	3187.6	-347.6 (-9.83%)

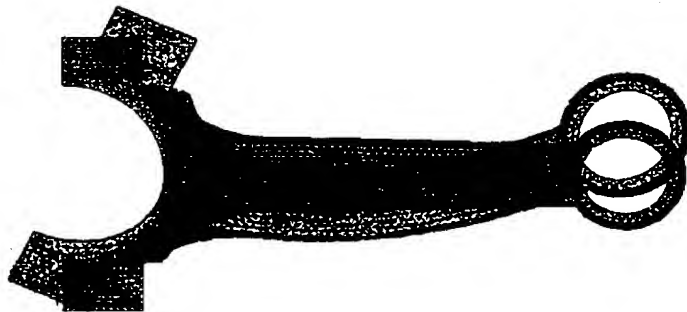
【図 2 6】

(B)



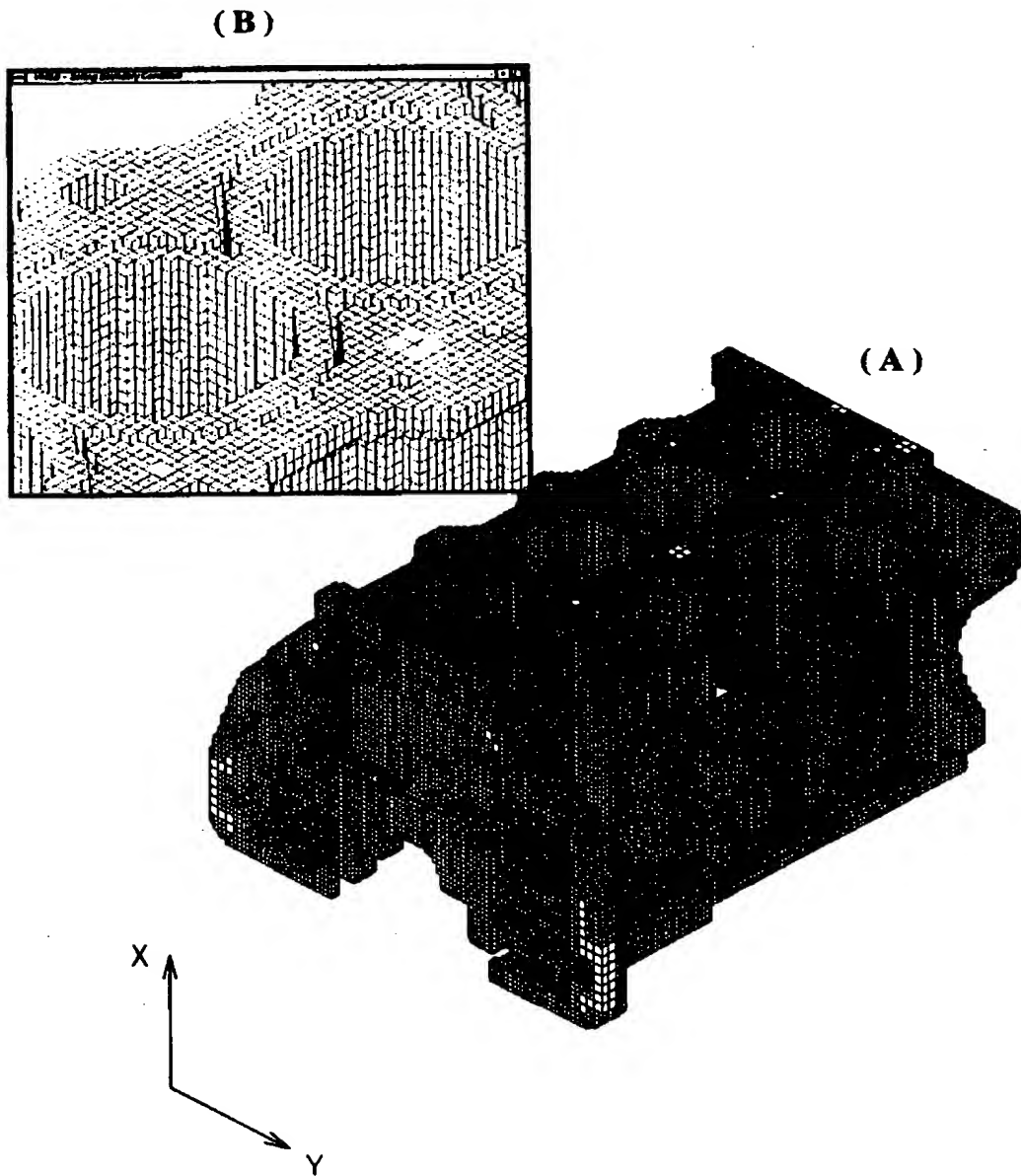
本システムで作成した
解析モデルの解析結果

(A)



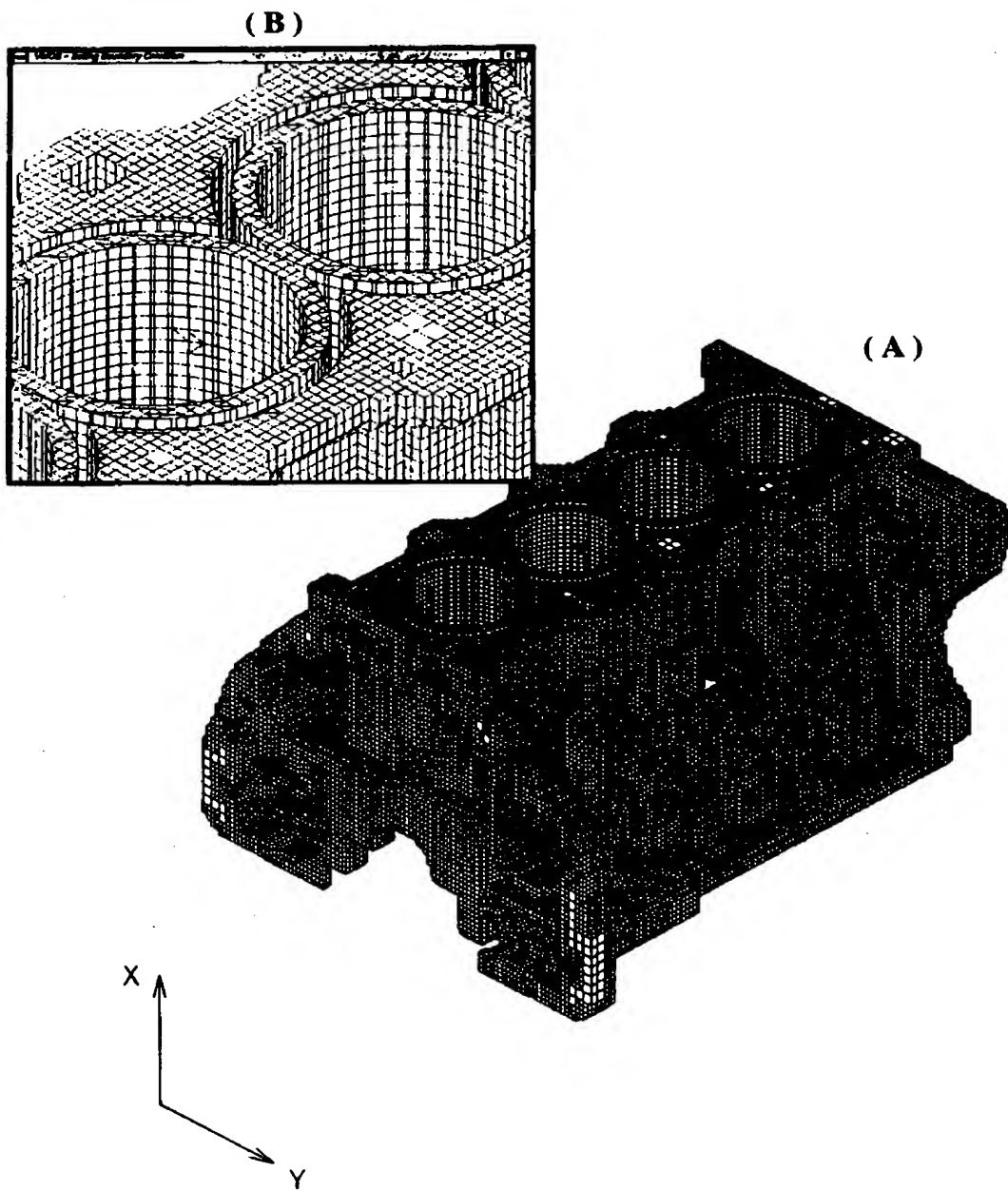
従来方法(I-DEAS(TM))で作成した
解析モデルの解析結果

【図27】



解析モデルデータ(形状フィットなし)

【図28】



解析モデルデータ(形状フィットあり)

【図 2 9】

シリンダーブロックへの本システム適用結果

解析モデル 作成方法	作成工数 [時間]	1次固有振動数 [Hz]	実験値に対する誤差 [Hz]
実験値		507.8	
本システム (形状フィットあり)	0.25	467.9	-39.9 (-7.9%)
本システム (形状フィットなし)	0.25	625.1	+117.3 (+23.1%)
従来方法 (I-DEAS(TM)利用六面体分割)	400	447.4	-60.4 (-11.9%)

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 切断面が2面以上あるような複雑な形状の解析対象物であっても、解析精度を悪化させずに要素を自動的に抽出すること。

【解決手段】 形状データと干渉しているボクセル毎に当該形状データとボクセルの内部との干渉面を用いて当該形状データの内部側に干渉多面体を作成する干渉多面体作成工程S3とを備えている。さらに、この干渉多面体作成工程S3に続いて、当該干渉多面体の頂点のうち予め定められた性質の頂点を他の頂点へ移動させると共にこの移動されなかった頂点と形状データの内側のボクセルの頂点とを頂点とする分割対象多面体を作成する分割対象多面体作成工程S5と、この分割対象多面体作成工程S5にて作成された分割対象多面体の複数の頂点の関係に基づいて予め定められた形状の要素を抽出する要素抽出工程S7とを備えた。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 0 8 2]

1. 変更年月日 1 9 9 1 年 4 月 2 7 日

[変更理由] 住所変更

住 所 静岡県浜松市高塚町 3 0 0 番地

氏 名 スズキ株式会社